

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## **Aplikace měření velkých rozměrů**

## **Measuring Application of Big Proportion**

Student:

Bc. Jiří Macháč

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Jiří Macháč**

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

**Aplikace měření velkých rozměrů**  
**Measuring Application of Big Proportion**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Možnosti měření velkých rozměrů.
3. Aplikace vybrané měřicí metody na vytipované součásti.
4. Vyhodnocení měření.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] JOZA, J. *Měření tvaru a rozměrů velkých součástí*. Praha : SNTL, 1982. 395 s.  
[2] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie – část 1*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.  
[3] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie – část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.  
[4] PERNIKÁŘ, J.; TYKAL, M.; VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie, Část metrologie*. Brno : VUT v Brně, 2004. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Lukáš Labaj  
Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....21. 5. 2012.....

..........

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 21. 5. 2012 .....

.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jiří Macháč

Adresa trvalého pobytu autora práce: Družba 1213, Brumov-Bylnice, 763 31

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

MACHÁČ, J. *Aplikace měření velkých rozměrů: diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, s. Vedoucí práce: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Hlavní náplní této práce je srovnávání měřících přístrojů Unimaster a Leica Absolute Tracker AT901-MR ve společnosti TES Vsetín s.r.o. V úvodu práce jsou popsány měřicí metody a měřicí systémy pro měření délek a průměrů. V další části budeme popisovat měřidla Unimaster a Leica Absolute Tracker se softwarem PolyWorks. V experimentální části bude vybraný výrobek měřen pomocí obou přístrojů. Výsledky měření budeme analyzovat pomocí výpočtů a grafů.

## **ANOTATION OF MASTER THESIS**

MACHÁČ, J. *Measuring Application of Big Proportion: Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2012, p. Thesis head: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

The subject of this thesis Measuring Application of Big Proportion is comparison of measuring devices "Unimaster" and "Leica Absolute Tracker AT901-MR" in the company TES Vsetín Ltd. The first chapter includes description of measuring methods and measuring systems for measure lengths and diameters. The second chapter focuses on "Unimaster" instrument and "Leica Absolute Tracker" with PolyWorks software. In the experimental part, the selected product is measured by using both devices. The results of measurements are analyzed by calculations and charts.

# **OBSAH:**

<b>1. Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2. TES Vsetín s. r. o.....</b>	<b>9</b>
<b>3. Měření délek.....</b>	<b>10</b>
3.1 Měřicí metody a měřicí prostředky pro kontrolu délek .....	10
3.2 Míry používané při délkových měřeních .....	11
3.3 Délkové měřicí systémy.....	11
<b>4. Chyby a nejistoty měření .....</b>	<b>14</b>
4.1 Chyby měření.....	14
4.2 Nejistoty měření.....	15
<b>5. Možnosti měření velkých rozměrů v TES Vsetín s.r.o .....</b>	<b>19</b>
5.1 Leica Absolute Tracker .....	19
5.2 Software PolyWorks .....	28
5.3 Měřicí přístroj Unimaster.....	35
<b>6. Aplikace vybrané měřicí metody vytipované součástky .....</b>	<b>38</b>
6.1 Příprava měřidla Leica Laser Tracker AT 901- MR.....	38
6.2 Příprava měřícího výrobku pro Leica Laser Tracker AT 901- MR .....	40
6.3 Měření na přístroji Leica Laser Tracker AT 901-MR .....	42
6.4 Příprava měřidla UNIMASTER .....	51
6.5 Příprava měřící součásti pro Unimaster.....	54
6.6 Měření pomocí přístroje Unimaster .....	54
<b>7. Vyhodnocení měření.....</b>	<b>57</b>
7.1 Vyhodnocení výsledku měření na přístroji LEICA .....	57
7.2 Vyhodnocení výsledku měření na přístroji Unimaster .....	60
7.3 Histogramy.....	63
<b>8. Literatura .....</b>	<b>67</b>

# SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značení	Význam	Jednotky
2D	Profilová metoda	
3D	Plošná (prostorová) metoda	
$\varepsilon$	Absolutní chyba měření	mm
$\sigma$	Relativní chyba měření	mm
y	Naměřená hodnota	mm
$x_0$	Pravá skutečná hodnota	mm
$u_A$	Standardní nejistota typu A	$\mu\text{m}$
$u_B$	Standardní nejistota typu B	$\mu\text{m}$
$u_c$	Kombinovaná standardní nejistota	$\mu\text{m}$
U	Rozšířená standardní nejistota	$\mu\text{m}$
$S_{\bar{x}}$	Směrodatná odchylka střední hodnoty	$\mu\text{m}$
$S_x$	Experimentální směrodatná odchylka	$\mu\text{m}$
$\bar{X}$	Aritmetický průměr	mm
$X_i$	Naměřená hodnota	mm
n	Počet naměřených hodnot	
$u_{Bi}^2$	Součet kvadrátů všech zdrojů nejistot typu B	$\mu\text{m}$
k	Koeficient rozšíření u nejistot měření	
IFM	Interferometr	
ADM	Absolutní délkoměr	
AIFM	Absolutní interferometr	
PSD	Dvouosý fotosenzor	
IR	Infračervená radiace	
A, B, C, D	Tlačítka na T-Probe	
$\varnothing$	Průměr	mm
L	Délka	mm
USB	Univerzální sériová sběrnice	
ID	Identifikační číslo	
CAD	Počítačem podporované navrhování	
6DOF	Šest stupňů volnosti	
3DOF	Tři stupně volnosti	
x, y, z	Osy	mm
R	Variační rozpětí	$\mu\text{m}$
Xmax	Nejvyšší naměřená hodnota	mm
Xmin	Nejnižší naměřená hodnota	mm
h	Šířka třídního intervalu	$\mu\text{m}$
k	Počet třídních intervalů	

## 1. ÚVOD

Ve strojírenství se každým rokem zvyšují nároky na přesnost veškerých strojních součástí. Je tomu tak i v kontrolování větších rozměrů. V této oblasti průmyslu je přesnost velmi klíčová z důvodu stále se zvyšující celosvětové konkurence. V této práci se řešila problematika měření větších průměrů a délek.

Práce se zabývala srovnáváním měřidel Unimaster a Leica Absolute Tracker AT901-MR. Přístroj Unimaster pracuje na principu dotykového 2D měření a Leica Absolute tracker pracuje na principu laserového 3D měření.

V počáteční kapitole je popsána firma TES Vsetín s.r.o., která se zabývá nejčastěji výrobou generátorů a motorů různých velikostí. Nejčastěji výrobou pro vodní elektrárny. V této firmě mají možnost mít oba tyto měřicí přístroje a tím zajistit kvalitní kontrolu.

V další kapitole je popsán způsob měření, přehled jeho chyb a nedostatků. Poté je v práci rozebrán přístroj Leica Absolute Tracker včetně jeho softwarového a hardwarového vybavení. V této kapitole je popsán program PolyWorks, který je součástí přístroje Leica. Tímto programem se rychle a přesně vyhodnocují naměřené hodnoty. Dále je popsán přístroj Unimaster a jeho příslušenství.

V následné kapitole provedeme měření vytipovaného výrobku, který bude nejprve měřen na přístroji Leica Absolute Tracker AT901-MR a poté pomocí přístroje Unimaster. Z těchto měření nám vyjdou výsledné hodnoty, které v další kapitole zanalyzujeme. Po rozebrání a analýze výsledků dojdeme ke zjištění, který přístroj je pro firmu efektivnější a užitečnější.



## 2. TES Vsetín s. r. o. [16]

TES Vsetín s.r.o. je spolehlivá, silná, moderní a flexibilní společnost, která systematicky naplňuje společné zájmy zákazníků, akcionářů, zaměstnanců, dodavatelů i obyvatel města a regionu.

Základem úspěchu společnosti **TES VSETÍN** je široce rozvinutá technologická základna – lisovna, nástrojárna, svařovna, obrobna, elektrotechnologie a vlastní výzkum a vývoj v oboru elektrických strojů. Poskytují komplexní řešení při výrobě či spotřebě elektrické energie. Zdrojem jejího rozvoje je tradice, komplexní technologie, vyspělé know-how, inovace a důsledné řízení procesů.

Firma má 550 zaměstnanců, plochu 100 000 m<sup>2</sup>, tradici více než 90 let, export 70 %, mj. do zemí EU, ESVO, Ruska, USA, Turecka, Thajska atd.

### **TES VSETÍN s.r.o. vyvíjí, vyrábí a dodává do celého světa:**

- Asynchronní generátory pro MVE 100 – 1500 kW
- Synchronní generátory pro MVE 100 – 15 000 kVA
- Synchronní generátory pro všeobecné použití 200 – 5 000 kVA
- Asynchronní hutní motory 50 – 1500 kW
- Motory a generátory s permanentními magnety do 3 000 kW
- Indukční regulátory napětí do 1440 kVA
- Zvedací stoly do 2400 kg
- Kooperální výrobky (plechy pro elekt. stroje, svařence, obrobky, navíjení, cívky atd.)

### Někteří ze zákazníků firmy TES Vsetín s.r.o.:

- ABB Västerås (Švédsko)
- Vítkovice Ostrava (Česko)
- Siemens (Německo)
- Škoda Electric (Česko)
- Mariupol (Ukrajina)
- TŽ Třinec (Česko)



Obr. 1 Výrobky firmy TES Vsetín s.r.o

### 3. Měření délek

V dnešní době se klade velký důraz na rychlost, kvalitu a dodržení předepsaných hodnot. Pokud chce firma na trhu ostatním konkurovat, musí dbát na velmi přesnou výrobu, která bude zajištěna kontrolou požadovaných tolerancí pomocí nejpřesnějších měřidel. Tyto měřidla jsou většinou drahá, ale postupem času se firmě několikanásobně vrátí. Pro měření délek se využívají různé měřicí přístroje. Pokud použijeme zvolený přístroj, musíme dbát taky na správně zvolenou metodu měření. To bývá většinou jedna ze základních chyb. Špatně zvolená metoda = špatné výsledky měření.

#### 3.1 Měřicí metody a měřicí prostředky pro kontrolu délek

Kontrola přesnosti rozměrů je aplikována těmito způsoby měření: [21]

- **absolutní** - při aplikaci zjišťovány celkové rozměry
- **komparační** - při aplikaci zjišťovány hodnoty úchylek od jmenovitého rozměru
- **toleranční** - skutečnost zda bylo předpisu přesnosti vyhověno
- **souřadnicové** - prostorové souřadnice jednotlivých bodů

Klasické způsoby měření délek využívají dotykovou metodu, kdy je dotyk v přímém kontaktu s povrchem měřicího výrobku. Závisí především na zvoleném dotyku (rovinný, kulovitý, nožový apod.) [21]

Absolutní způsob klade vysoké nároky na měřicí techniku (rozlišovací schopnosti). Měřicí technika pro komparační měření si vystačí s menší rozlišovací schopností. Měřicími prostředky pro toleranční měření mohou být elektronické přístroje umožňující světelnou indikaci nebo pevná měřidla (kalibry). Souřadnicové měření je metoda měření, která odměřuje prostorové souřadnice jednotlivých bodů na povrchu součásti a také geometrické vazby bodů vyjádřených geometrickými prvky (bod, přímka, rovina, kružnice atd.) Výsledky měření délek souřadnicovým způsobem jsou originální a nedosažitelné žádným jiným způsobem. [21]

### 3.2 Míry používané při délkových měřeních

Základní délkovou jednotkou je podle ČSN 01 1300 **metr**, který je definován takto:

***Metr je délka dráhy, kterou uletí světelný paprsek ve vakuu za 1/299 792 458 s.*** [22]

Z metru jsou odvozeny další jednotky pro měření délek, které jsou násobky nebo zlomky metru: [22]

$$1 \text{ km (kilometr)} = 1\,000 \text{ m} = 10^3 \text{ m}$$

$$1 \text{ cm (centimetr)} = 0,01 \text{ m} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$1 \text{ mm (milimetr)} = 0,001 \text{ m} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$1 \text{ } \mu\text{m (mikrometr)} = 0,000\,001 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm (nanometr)} = 0,000\,000\,001 \text{ m} = 10^{-9} \text{ m}$$

- ***vlnová délka*** - dovolená úchylka  $\pm 0,005 \mu\text{m}$ , použití u laserových délkových měřících systémů, interferenčních komparátorů, interferometrů atd. [21]
- ***koncová měřka*** -  $\pm 1 \mu\text{m}$  pro  $l = 1000 \text{ mm}$ , použití pro přenos délky pomocí měrek [21]
- ***čárkové míry*** - použití u skleněných měřitek, ocelových a posuvných měřitek, souřadnicových měřících strojů, měřících mikroskopů atd. [21]
- ***měřicí trny*** - použití pro měření průměrů otvorů a vzdálenosti otvorů [21]

### 3.3 Délkové měřící systémy (obr. 2) [17]

Velké rozměry se ve strojírenství běžně rozumí rozměry nad 500 mm. Norma ČSN 01 0202 se vztahuje k problematice zaměnitelnosti součástí ve strojírenské výrobě. Měření velkých rozměrů se ve strojírenství setkává s celou řadou problémů. [17]

Tyto problémy jsou např.: [17]

- průvodní jevy ovlivňují výsledek měření ve větší míře než při měření běžných rozměrů (tuhost měřidla, tepelná roztažnost apod.),
- chybí vhodná a cenově dostupná měřící technika,
- nejčastěji chyby konstruktéra, který předepisuje tolerance. Tyto tolerance nemohou být splněny, protože z danými měřícími přístroji (dostupné měřidla) nejdou tyto tolerance změřit.

#### **Ocelová měřítka:**

- méně přesné měření,
- rozměr s přesností na milimetry, odhad na desetinu mm.

**Odpichy:**

- slouží jak pro měření vnitřních rozměrů, tak k přenosu míry na třmenová měřidla a také k měření od pomocných základů,
- běžně se používají odpichy pevné, vysouvací, mikrometrické a skládací.

**Měřicí pásma:**

- používají se obvykle pro měření nad 6000 mm (někdy i pro menší rozměry),
- jejich výhodou je malá hmotnost, jednoduchost a také to, že s rostoucí měřenou délkou roste chyba měření pásmem pomaleji než u klasických měřidel.

**Měření odvalem:**

- princip spočívá ve zjišťování parametru obrobku pomocí odvalovacího kolečka o definovaném obvodu (zpravidla 0,5 m) přitlačeného na obrobek,
- metodu lze použít jen pro rotační součásti s nepřerušovaným povrchem z neporézního materiálu,
- metodu lze použít až do průměru 20 000 mm.

**Pevná měřidla:**

- nejčastěji slouží jako mezní měřidla (jednostranné, dvoustranné),
- zjišťujeme, zda rozměr součásti je v tolerančním poli či nikoliv,
- vyrábějí se do rozměru 2000-3000 mm,

**Posuvná měřidla:**

- vyrábějí se pro rozsahy 1000 – 4000 mm.

**Mikrometrická měřidla:**

- vyrábějí se do 3000 mm se stoupáním mikrometrického šroubu 0,5 mm,
- přesnost 0,01 mm
- rozsah měření se mění vyměnitelnými pevnými dotyky.

**Optoelektronické snímače**

Světelné paprsky jsou pozoruhodné jako nástroj měřicí techniky:

- dovolují vykonávat bezdotyková měření v rychlém sledu,

- mají dlouhý dosah při zachování velkého rozlišení,
- jsou téměř imunní vůči rušení.

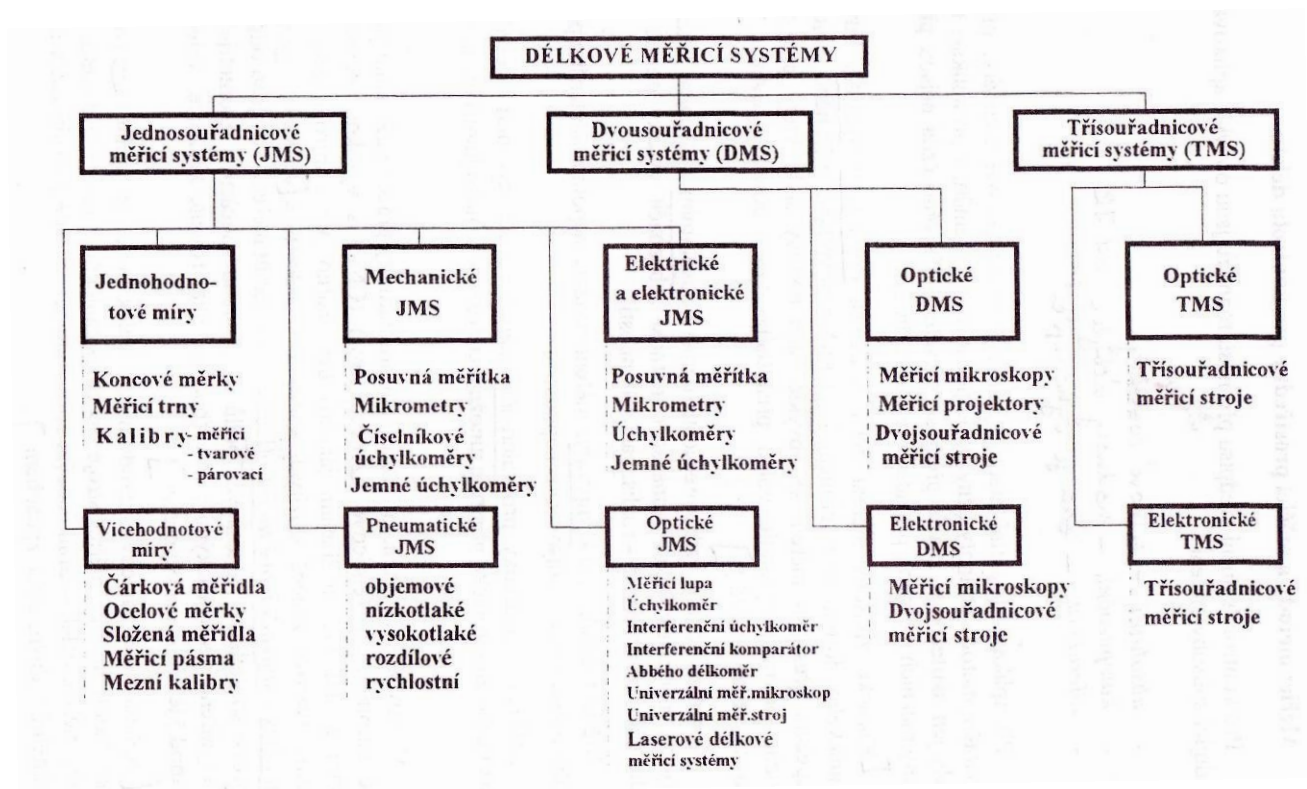
Při jejich spojení s účinnými číslicovými procesory lze, za použití různých druhů zařízení, ekonomicky výhodně řešit nejrůznější měřicí, detekční i bezpečnostní úlohy.

### Principy optoelektrických snímačů vzdálenosti

Využití světla k měření vzdálenosti, detekci předmětů i ochraně osob a strojů během provozu je vždy podmíněno odrazem určitého světelného paprsku od předmětu. V závislosti na oblasti použití se využívají tři zcela odlišné fyzikální principy:

- měření s použitím triangulace,
- měření založené na fázovém posuvu,
- technika šíření impulsů.

Uvedené tři základní principy optického měření vzdálenosti se neliší pouze svou fyzikální podstatou, ale také dosažitelným rozlišením, opakovatelností, absolutní přesností měření atd.



Obr. 2 Přehled délkových měřicích systémů [17]

## 4. Chyby a nejistoty měření

### 4.1 Chyby měření [17, 18, 19]

Každé měření je zatíženo chybou. Chyba měření je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a pravou (skutečnou) hodnotou měřené veličiny. Tento rozdíl nazýváme **absolutní chyba** měření. Můžeme ji popsat níže uvedeným vzorcem.

$$\varepsilon = y - x_0 \quad (1)$$

kde:

- $\varepsilon$  - absolutní chyba,
- $y$  - naměřená hodnota,
- $x_0$  - pravá (skutečná) hodnota.

**Relativní chyba** – je poměr absolutní chyby měření a pravé (skutečné) hodnoty měřené veličiny.

$$\sigma = \frac{\varepsilon}{x_0} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

Chyby vznikají vlivem:

- měřidla – vliv tření, chyba umístění,
- měřicí metody,
- prostředí – vliv teploty,
- měřicí osoby – zručnost, zkušenost, psychický stav, kvalifikace.

Členění chyb:

- dle časové závislosti: statické, dynamické,
- dle možnosti vyloučení: odstranitelné, neodstranitelné,
- dle způsobu výskytu: hrubé, systematické, náhodné.

**Hrubé chyby** – jsou nejčastěji způsobeny chybou na měřicím přístroji, měřidlem, měřicí osobou, měřicí metodou, chybou zapsání výsledků, špatným zpracováním výsledků aj. Tyto naměřené hodnoty jsou pro nás nepoužitelné a vylučují se ze souboru naměřených hodnot. Až po odstranění příčin vzniku hrubé chyby se smí pokračovat v měření.

**Systematické chyby** – tyto chyby měřidla vznikají při jeho výrobě, používání a činnosti. Příčiny vzniku působí soustavně a jednoznačně co do smyslu a velikosti. Mohou vznikat při nepřesném smontování přístroje, nepřesností jednotlivých částí, deformací, změnou pracovních podmínek apod. Tuto chybu je možno určit a následně opravit. Systematické chyby zjistitelné můžeme použít ke korekci naměřené hodnoty, mají konkrétní znaménko a hodnotu. Systematické chyby neznámé nemají konkrétní hodnotu, jsou brány jako chyby náhodné a zahrnují se do nejistoty měření.

**Náhodné chyby** – jsou způsobené příčinami náhodného charakteru co do velikosti a směru působení. Náhodné chyby mají při měření ve strojírenství nejčastěji Gaussovo (normální) rozdělení hustoty pravděpodobnosti výskytu. Určíme ji tak, že od výsledné hodnoty měření odečteme střední hodnotu, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže veličiny uskutečněných za podmínek opakovatelnosti.

## 4.2 Nejistoty měření

Nejistota měření je parametr, který charakterizuje rozsah hodnot okolo výsledku měření a s určitou pravděpodobností zaručuje, že v tomto intervalu bude ležet skutečná hodnota měřené veličiny. V nejistotě měření jsou zahrnuté všechny jednotlivé náhodné chyby a nejistoty určení systematických chyb. Kvalitativně nahrazuje chybu měření [17,18].

Základem určování nejistoty je standardní nejistota  $u$ , která se vyjadřuje hodnotou střední kvadratické odchylky. Může se udávat v absolutních hodnotách (v jednotkách měřené veličiny) a takhle se nazývá absolutní standardní nejistotou a nebo v procentech a je to relativní standardní nejistota [17,18].

Standardní nejistoty se podle způsobu vyhodnocení dělí na:

- nejistoty typu A,
- nejistoty typu B,
- kombinované nejistoty,
- rozšířené nejistoty.

### 4.2.1 Standardní nejistota typu A ( $u_A$ )

Hodnota této standardní nejistoty se stanovuje z výsledků opakovaných měření statistickou analýzou množiny naměřených hodnot. Příčiny jejího vzniku se považují za

neznámé. Zvyšujícím se počtem měření hodnota nejistoty typu A klesá. Pro statistické vyhodnocení by měl být počet opakovaných měření minimálně 10, jinak by nebylo možné uskutečnit kvalifikovaný odhad.[19]

$$u_A = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\sum \frac{X_i - \bar{X}}{n \cdot (n-1)}} \quad (3)$$

kde:

$S_x$  - experimentální směrodatná odchylka,

$S$  - směrodatná odchylka střední hodnoty,

$\bar{X}$  - aritmetický průměr,

$X_i$  - naměřená hodnota,

$n$  - počet naměřených hodnot.

#### 4.2.2 Standardní nejistota typu B ( $u_B$ )

Výsledná hodnota uvedené standardní nejistoty měření se stanovuje z jednotlivých zdrojů nejistot, které jsou identifikované pro konkrétní měření a jejich hodnoty nezávisí na počtu opakovaných měření.[19]

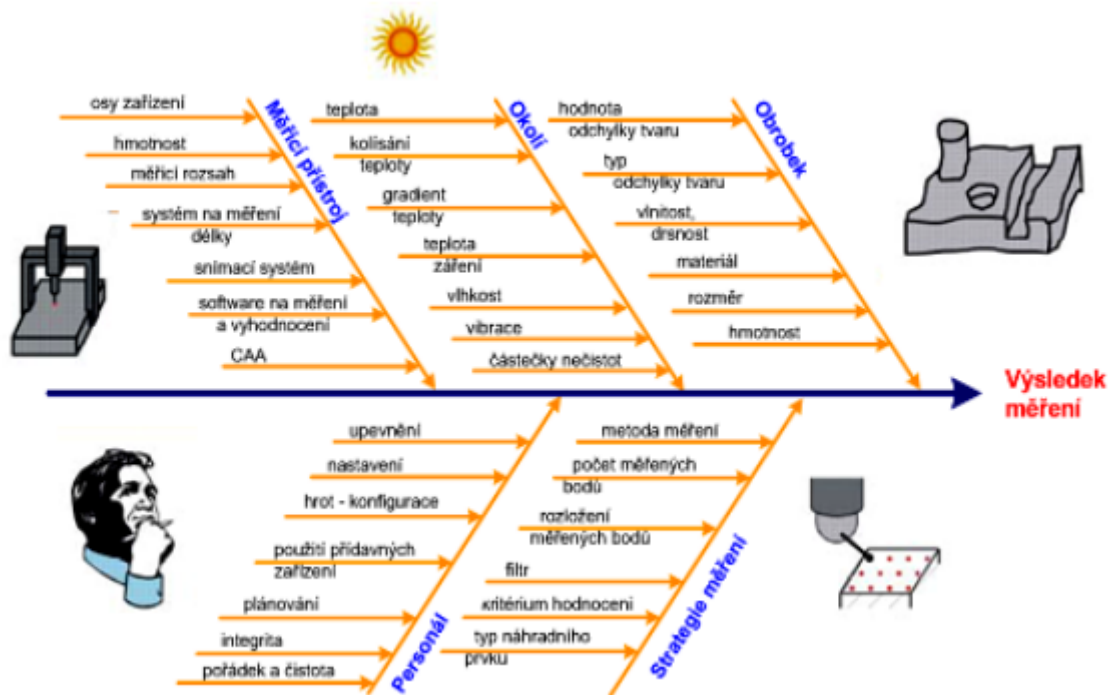
$$u_B = \sqrt{\sum u_{Bi}^2} \quad (4)$$

kde:  $u_{Bi}^2$  - součet kvadrátů všech zdrojů nejistot typu B

Vlivy, které přispívají k nejistotě měření typu B, můžeme rozdělit do skupin (Obr. 3): [19]

- prostředí měření (teplota, vlhkost, vibrace, částičky nečistot),
- měřený objekt (hodnota a typ odchylky tvaru, vlnitost, drsnost, materiál, rozměr, hmotnost),
- měřicí zařízení (osy zařízení, hmotnost, měřicí rozsah, systém na měření délky, snímací systém, software na měření a vyhodnocení),
- obsluha měřicího zařízení (upevnění, nastavení, konfigurace hrotu, použití přídavných zařízení, plánování, integrita, pořádek a čistota),
- strategie měření (metoda měření, počet a rozložení měřených bodů, filtr, kritérium hodnocení, typ náhradního prvku).





Obr. 3 Faktory ovlivňující výsledek měření [19, 20]

### Vlivy měřicího zařízení

Každé měřicí zařízení obsahuje svoje vlastní vnitřní nedokonalosti, které se berou do úvahy při stanovení přesnosti určitého měřicího zařízení. Tyto nedokonalosti jsou např.: deformace, nepřesnost výroby jednotlivých funkčních elementů, nepřesnost montáže převodových systémů a mechanismů. Tyto nežádoucí vlivy se eliminují ověřováním a kalibrací měřicích zařízení.[19]

Parametry měřicích reflektorů a dotyků, které ovlivňují dosažitelnou nejistotu měření jsou: průměr snímací koule, délka snímače, průměr dráčky, hmotnost konfigurace snímačů, rychlost snímání, směr snímání, délka prodlužovacích dílů atd.

#### 4.2.3 Kombinovaná standardní nejistota ( $u_C$ )

Uvedená standardní nejistota se stanovuje jako geometrický součet standardní nejistoty typu A ( $u_A$ ) a nejistoty typu B ( $u_B$ ).[19]

$$u_C(X) = \sqrt{u_A^2(X) + u_B^2(X)} \quad (5)$$

kde: X - náhodná proměnná.

#### 4.2.4 Rozšířená standardní nejistota (U)

Uvedená standardní nejistota definuje interval přibližně kolem výsledku měření, ve kterém se s určitou pravděpodobností nachází výsledek měření. Stanovuje se jako součin standardní nejistoty  $u$  a koeficientu rozšíření  $k$ . [18,19]

$$U = k \cdot u \quad (6)$$

Pro normální rozdělení se koeficient rozšíření  $k$ , volí z intervalu  $\langle 2, 3 \rangle$ . Když  $k = 2$ , tak úroveň spolehlivosti je 95% a pokud  $k = 3$ , tak úroveň spolehlivosti je 99,7%. [17, 18, 19]

## 5. Možnosti měření velkých rozměrů v TES Vsetín

V TES Vsetín používají měřicí přístroje od měřících pásem, koncových měrek, kalibrů, mikrometrů, posuvných měřidel, úchylkoměrů až po třísouřadnicové měřicí systémy. Ve firmě TES Vsetín používají jedno z nejpřesnějších měřidel Leica Absolute Tracker AT901-MR. Tento přístroj patří mezi nejmodernější 3D přístroje pro měření v nejnáročnějších prostředích, od dílen výrobních hal až k metrologickým laboratořím. Ve firmě TES Vsetín používají také mechanický měřicí přístroj Unimaster pro přímé měření velkých rozměrů, vnitřních i vnějších, a to až do délky několika metrů.

### 5.1 Leica Absolute Tracker

#### 5.1.1 Laserový tracker Leica

Senzorová jednotka čte prvotné úhly a vzdálenosti. Laserový interferometr (IFM) a absolutní délkoměr (ADM) jsou integrovány do společného modulu a názvem absolutní interferometr (AIFM). Laserový svazek paprsků je odchýlený sklopným zrcadlem do cíle reflektoru. Odrazový svazek je snímán přijímačem a dvouosým fotosenzorem (PSD). Rozdíly PSD hodnot umožňují sledovací schopnost laserového trackeru Leica. Rychlý uvolňovací mechanismus bezpečně připojuje snímač na robustní tripod. Získáváme spolehlivou stabilitu (základ pro přesné měření). Celé zařízení lze transportovat na vozíku střední velikosti.[1]



Obr. 4 Leica Absolute Tracker [2]

#### 5.1.2 ATController

Řídící jednotkou Laserového Tracker je ATController. Obsahuje systémy pro ovládání trackeru, elektronika potřebná k dekodování signálu z trackeru a její číselnou interpretaci.

Obsahuje vlastní operační systém a firmware, který tvoří rozhraní mezi trackerem a měřicím softwarem. Systém, který běží v ATController se nazývá emScon a pomocí vhodného rozhraní dokáže ovládat všechny základní funkce trackeru.[1]

### **5.1.3 Absolute Interferometr (AIFM)**

Je velice schopný okamžitě po přerušení paprsku obnovit přerušený laserový paprsek tzn. okamžitě začne sledovat cíl.

Udržování integrační doby (čas potřebný k provedení matematických operací k určení polohy cíle) na minimum je základem při sledování pohyblivých cílů. [1]

Jeho rychlost a přesnost zakládají nový standard v metrologii pro průmyslové aplikace. Nabízejí odolný, technologicky rozvinutý design se zanedbatelnou teplotní stopou. [1]

### **5.1.4 Interferometr (IFM)**

Dokáže určit relativní vzdálenost (např. změna vzdálenosti od bodu k bodu) s přesností na úrovni nanometru, s okamžitou aktualizací, která je limitována pouze rychlostí, kterou je pohybováno reflektorem. Je průmyslovým standardem více než 30 let a zůstává nejpřesnějším systémem k dispozici pro měření velkých vzdáleností.[1]

nevýhoda: - není schopen určit absolutní polohu v 3D prostoru.[1] (musí znát počáteční bod)

- dokáže měřit pouze relativní vzdálenosti[1]

### **5.1.5 Absolutní délkoměr (ADM)**

Měří absolutní vzdálenosti (např. vzdálenosti k neznámému bodu v 3D souřadnicovém systému) s mimořádnou přesností. Má konstantní hodnotu v celém měřicím rozsahu (i u vnější hranice měřicího rozsahu). [1]

nevýhoda: - nikdy nedosahuje rychlosti ani přesnosti IFM pro dynamické měření. [1]

Leica Geosystems kombinuje silné stránky obou těchto měřicích principů vytvořením spolehlivého systému s četnými zabudovanými redundancemi, které garantují skvělé přesnosti v celém měřicím rozsahu. [1]

### **5.1.6 Okolní prostředí**

Bez ohledu zda provádíme měření za přímého slunečního světla, se svářečskými jiskrami poletujícím kolem měření nebo při prudce se měnícím okolním světle, tak Leica T-Cam bezchybně funguje. Cílová zařízení, která vysílají pulzující infračervené světlo známé vlnové délky a CMOS kamera využívá clonu, která zajišťuje stejnou frekvenci, ve které pulzuje cílové zařízení. Tímto způsobem může „ignorovat“ všechny další zdroje světla kromě

samotného cílového zařízení. Tzn. Leica má oči pouze pro cílová zařízení Leica Geosystems. [1]

### 5.1.7 PowerLock

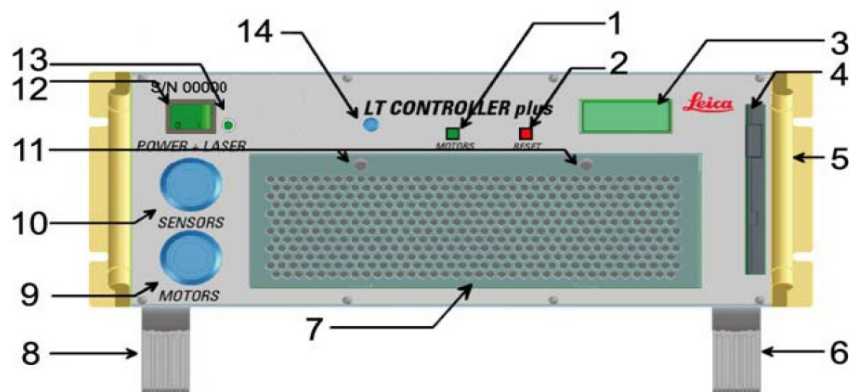
Je vizuální technologie, která dokonale mění způsob, jakým byly doposud laserové trackery používány. Obsluhující pracovník se už nikdy nemusí zabývat laserovým paprskem, může jednoduše měřit co se mu právě nabízí a nechá tracker, aby si reflektor paprsek vyhledal a uzamkl sám.

### 5.1.8 Příslušenství Leica Absolute Tracker

#### 5.1.8.1 Hardware

Leica Absolute Tracker je poháněn pomocí hardwaru, který je uložen v ATController. Z něho jsou pomocí datových kabelů (motorový a senzorový) propojeny s Laserovým tracerem. Datové kabely se vyrábějí v délkách 5 a 10 m.

Čelní pohled hardwaru: [1]



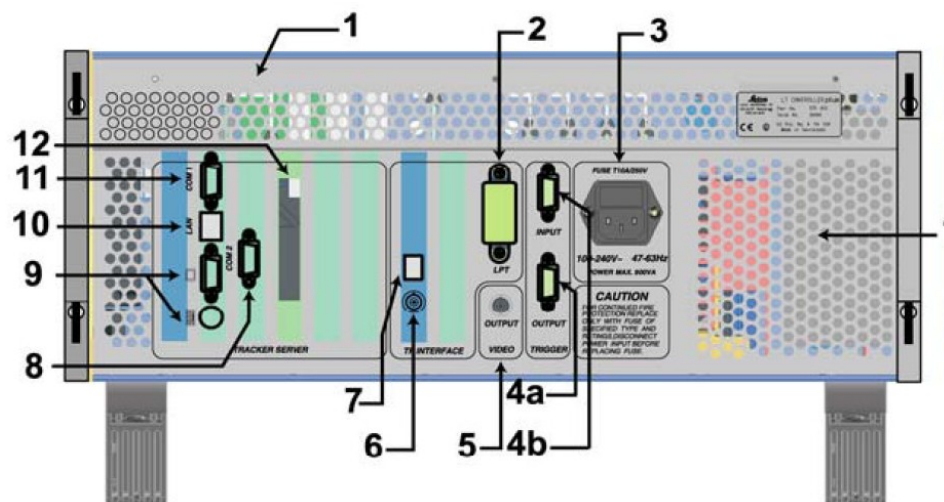
Obr.5 Čelní pohled hardwaru [1]

- 1) Dezaktivační přepínač motoru (motory aktivovány - svítí)
- 2) Tlačítko pro resetování serveru
- 3) Stav displeje: LAN adresa, název, uživatelská verze a aktuální činnost
- 4) CD-ROM mechanika
- 6,8) Sklopná noha
- 7) Větrací rošt s prachovým filtrem
- 9) Zásuvka motorového kabelu
- 10) Zásuvka senzorového kabelu
- 11) Křídlové šrouby větracího roštu
- 12) Hlavní vypínač napájecího zdroje pro ATControlleru a senzorovou jednotku (tracker)

13) LED pro vypínač napájecího zdroje

14) T-Probe zásuvka

Zadní pohled hardwaru: [1]



Obr.6 Zadní pohled hardwaru [1]

- 1) Zadní deska s větracími otvory
- 2) Paralelní port pro prvotní data
- 3) Zásuvka napájecího zdroje s pojistkou
- 4a,b) Výstup triggeru (volitelný)
- 5) Port vyhledávající kamery
- 6) Axyz BNC port
- 7) Axyz RJ-45 port
- 8) Port meteostanice (emScon len)
- 9) Leica Geosystems servisní rozhraní
- 10) LAN port RJ-45 (emScon)
- 11) Leica Geosystems servisní rozhraní
- 12) PCMCIA rozhraní

#### 5.1.8.2 Prachové filtry

Prachové filtry jsou důležitou součástí Leica Absolute Tracker, které je potřeba s ohledem na pracovní prostředí pravidelně kontrolovat, čistit a měnit. [1]

Při výměně filtru musí být Leica laser tracker vypnutá a musíme dbát na to, aby se dovnitř Leica absolute tracker nedostal jakýkoliv předmět. Použitím bez prachových filtrů může dojít k poškození zařízení.

Pokud je prachový filtr dosti znečištěný, doporučuje se vyměnit filtr, aby se nezamezilo ventilaci vzduchu uvnitř zařízení a nedošlo k jeho přehřívání nebo poškození systému.



Obr. 7 Místa výměny prachových filtrů [1]

### 5.1.8.3 Meteostanice

Teplota, tlak a vlhkost atmosféry ovlivňují index lomu vzduchu, který způsobuje změnu rychlosti a vlnové délky laserového svazku paprsku. Tyto změny ovlivňují hodnoty měření vzdálenosti. Meteostanice poskytuje informace (zabudované čidlo) o prostředí (teplota, tlak a vlhkost vzduchu) měřeného objektu, které se používají na zjištění aktuálního indexu lomu atmosféry. Meteostanice má dva konektory pro připojení externích čidel parametru vzduchu nebo měřeného objektu. Připojuje se k ATControlleru pomocí USB kabelu. Bezchybnou činnost stanice indikuje světelná dioda. [1]

Parametry: [3]

- tlak min. 500hPa, max. 1100hPa
- teploty (vnitřní a vnější): min. -10 ° C, Max. 60 ° C
- relativní vlhkost: min. 0%, max.. 95%

Přesnost: [3]

- tlak:  $\pm 1,0$  hPa
- teploty (vnitřní a vnější.)  $\pm 0,3$  ° C
- vlhkost:  $\pm 5\%$



Obr. 8 Meteostanice [3]

#### 5.1.8.4 Digitální vodováha

Digitální vodováha aneb „Nivel 230“ je vysoce přesný, biaxiální sklonový senzor, který měří sklon laserového trackeru Leica k těžišti. Nivel 230 se používá na orientaci trackeru Leica ke gravitaci a nebo monitoru stability laserového trackeru Leica. [1]



Obr. 9 Nivel 230 [4]

#### 5.1.8.5 Pohledová kamera (Overview camera)

Monochromatická sledovací kamera umožňuje zpětné sledování reflektorových cílů. Kamera má proměnlivé nastavení ohniska a clony. Je namontovaná na sledovací hlavě. Kamera může být použita buď na vizuální rozpoznání reflektoru nebo na zacílení laserového svazku paprsku. [1] [5]



Obr. 10 Pohledová kamera [5]

#### 5.1.8.6 Reflektor + adapter

Reflektor je zpravidla kulovitěho tvaru přesných rozměrů a představuje zařízení, které v sobě obsahuje systém zrcadel nebo jiných odrazových ploch sloužících k odražení přijatého laserového paprsku zpět do Trackeru. Existuje několik druhů reflektorů, lišících se velikostí (1,5“;0,5“), použitým materiálem (nerezová ocel, povrchově kalené), odolností vůči pádu a podobně. [1] [6]

Adaptér má v sobě magnet, kterým uchytí reflektorovou kuličku. Tento adaptér slouží k měření vnitřních děr, ke kterým se nedostane T-Probe. Pokud chceme adaptér použít, nesmíme zapomenout v panelu nástrojů snímacího zařízení přepnout ručně na adapter v závislosti na použití reflektoru 1,5“;0,5“.





Obr. 11.1 Reflektorová kulička [6]



Obr. 11.2 Adaptér

#### 5.1.8.7 Leica T-Probe dotykový adaptér

Je to precizní rychloupínací adaptér pro Leica T-Probe, který umožňuje odstranění a připojení hrotů bez její re-kalibrace. Adaptér má vestavěnou inteligenci pro podporu dotyků. Tato inteligence dokáže sama identifikovat připojený dotykový hrot.



Obr. 12 Dotykový adaptér [11]

#### 5.1.8.8 Rubínová dotyková kulička + prodloužené doteky

Pro Leica T-Probe se dotykový adaptér používá pro různé dotykové hroty od různých průměrů až po různé měřicí délky. Nejčastěji se využívají rubínové dotykové hroty ve tvaru koule o průměru 3 a 6 mm. Tyto rubínové dotykové hroty jsou připevněny k prodloužecím dotykům s karbonu, které mají průměr 11 mm a používají se nejčastěji v délkách 40, 100, 200 a 400 mm.



Obr. 13 Dotykové hroty + prodloužené doteky [11]

#### 5.1.8.9 T-Cam

Používá se ve spojení s T-Probe a T-Scan. Leica T-Cam představuje digitální kamerový systém (vsazený na Leica Absolute Tracker), jenž využívá dvou složek, viditelného světla a infračervené (IR) radiace. Tyto dvě složky se vyznačují optickým vario zoomem a motorem

pro vertikální a úhlový pohyb. T-Cam průběžně sleduje cílové zařízení a zachycuje obrazy IR LED diod umístěných na cílovém zařízení. [1]



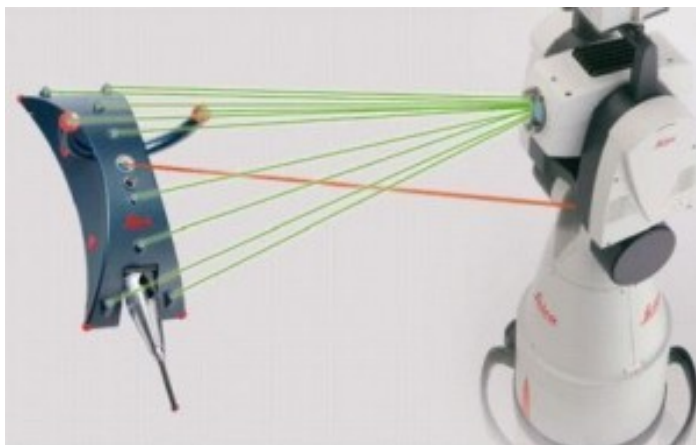
Obr. 14 T-Cam [7]

#### 5.1.8.10 T-Probe

Je přenosný bezramennový a bezdrátový přístroj, který se využívá při snímání nedostupných, těžko dosažených bodů. Umožňuje měření v jednom měřicím rozsahu s minimálním nastavením - klade nové standardy zvyšováním přesnosti, poskytuje desetinásobně zvýšení rychlosti získání dat. Po bocích přístrojů jsou programovatelné multifunkční tlačítka A,B,C,D které slouží k rychlejší komunikaci s Leica. Tlačítko A slouží k startu snímání, B slouží k zastavení snímání, C slouží k funkci o jeden krok zpět a D slouží k ukončení snímání.[9]

Mezi vlastnosti Leica T-Probe patří: [9]

- Menší, lehčí a výhodnější jako porovnatelné měření
- Největší rozsah měření až do 30 m redukuje dobu úkonů inspekce o min. 50 %
- Vyšší rozsah aplikačních úhlů jako jakýkoliv jiný porovnatelný systém sklon  $\pm 45^\circ$ , vybočení  $\pm 45^\circ$
- Bezdrátové snímání a zvýšená produktivita zabezpečená napájením z baterie
- Prodloužená životnost baterie s flexibilním režimem spánku
- Automatická identifikace vyměnitelných dotykových snímacích hrotů snižuje možnosti chyby obsluhy
- Multifunkční tlačítka A, B, C, D pro rychlejší snímání
- Ovládání snímače jednou rukou - adaptace na činnost levá/pravá ruka
- Široký sortiment dostupných snímacích hrotů od 100mm, 200mm a dalších
- Vizuální informace pro obsluhu o stavu baterie, přípravě měřidla a úhlu natočení



Obr. 15.1 T-Probe [8]



Obr. 15.2 Kalibrovací hnízdo pro T-Probe [7]

#### 5.1.8.11 T-Scan

Je vysokorychlostní ruční laserový skener, který digitalizuje jak lesklé sklo tak i difúzní povrchy bez jakýchkoliv alkoholových nastavení za normálních světelných podmínek. O 50 % rychleji skenuje velké objekty jako porovnatelné produkty. Časy jakýchkoliv nastavení jsou minimální a nejsou potřebné fotomagnetické značky. Promítáním laserového paprsku bod po bodu, používá „flying dot„ technologii na digitalizování všech typů povrchů.[10]

Mezi vlastnosti Leica T-Scan patří:[10]

- Navigační laserový paprsek, který informuje obsluhu o dodržení/překročení měřicího rozsahu
- Výkon laserové diody je pro zrak bezpečný
- Minimální/maximální pracovní vzdálenost je 41 - 119 mm
- Automatické nastavení intenzity laserové diody při použití na lesklých nebo tmavých površích
- Obsahuje spouštěcí tlačítko na sběr dat
- Hloubka měřicího rozsahu je 78 mm
- Šířka skenování v rámci hloubky měřicího rozsahu je 90 mm  $\pm$  25 mm



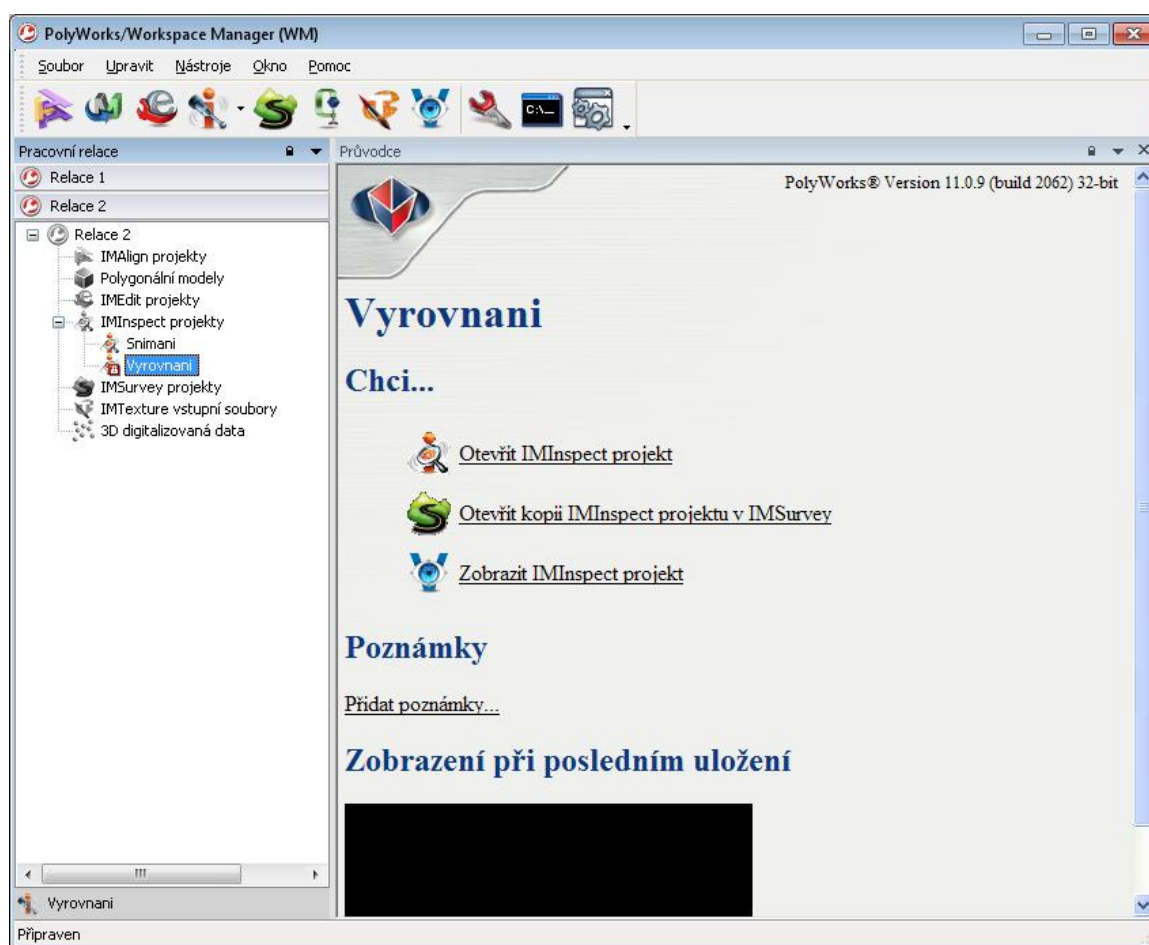
Obr. 16 T-Scan [8, 10]

## 5.2 Software PolyWorks

PolyWorks Inspektor je výkonné softwarové řešení kanadské společnosti InnovMetric, které využívá objemové mračna bodů ke kontrole reverzního inženýrství, jako např. ke kontrole kvality dílců, přesnosti osoustružených otvorů, ke kontrole požadované délky atd. [12]

### 5.2.1 Správce pracovních relací

Po spuštění ikony v počítači se spustí software PolyWorks a následně se objeví pracovní okno s pracovními relacemi. Pracovní relace v sobě nese různé modely z některých projektů, které nám charakterizují výrobu v různých stádiích výroby např. jeden výrobek po soustružení délky se přeměří zda dosáhl požadované přesnosti. Identifikace daného výrobku a různé projekty nesou název pracovní relace. Okno pracovních relací se skládá z panelu nástrojů, stromového zobrazení pracovních relací a jejich projektů, nabídky menu a průvodce, který nabízí uživateli několik možností se zpracováním vyznačených položek.[12]



Obr. 17 Okno správce pracovních relací [12]

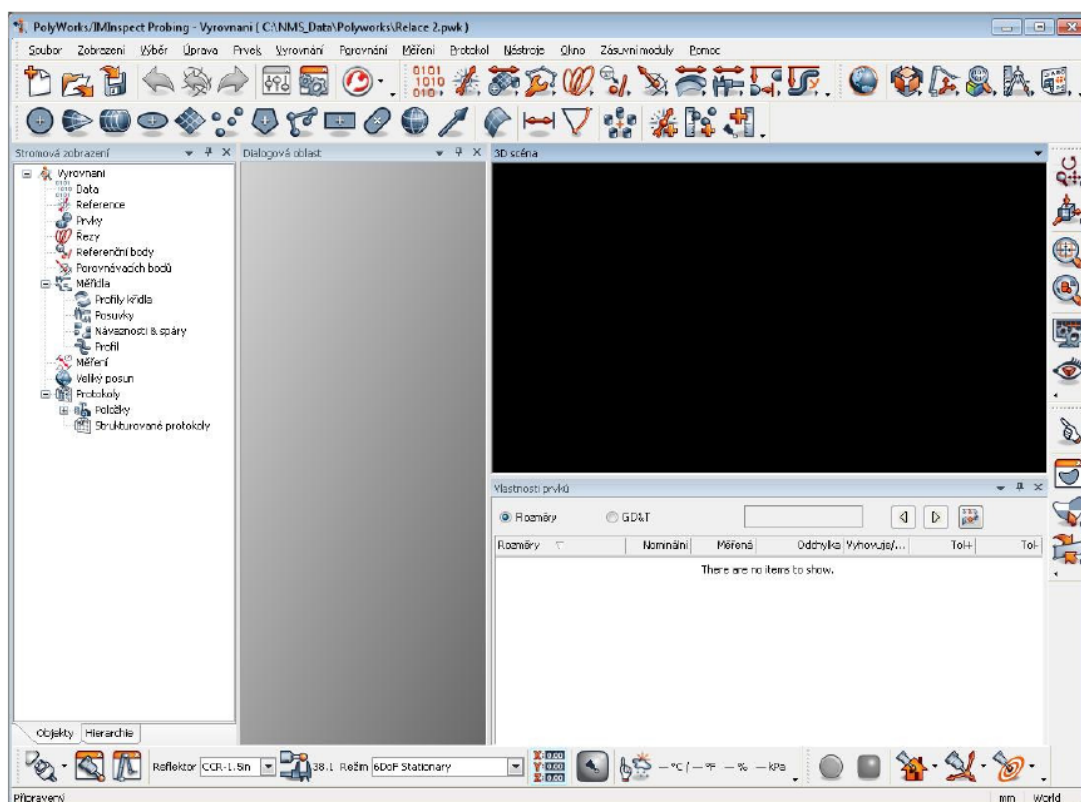
### 5.2.2 Licence pro PolyWorks

Software PolyWorks je chráněn licenčním klíčem. Mohou jej tedy pouze používat uživatelé s platnou licencí. Každá zakoupená licence software PolyWorks obsahuje malé zařízení připojitelné do USB portu, tzv. hardwarový klíč (USB Dongle), který nese své jedinečné číslo neboli ID. Software bude fungovat pouze tehdy, pokud bude klíč připojen k PC, na kterém PolyWorks běží a také musí být na tomto PC aktivována licence. [12]

### 5.2.3 Inspektor Probing

Uživatel má možnost kompletní kontroly a analýzy nejrůznějších modulů v interaktivních snímacích metrologických aplikacích. Jako například: [12]

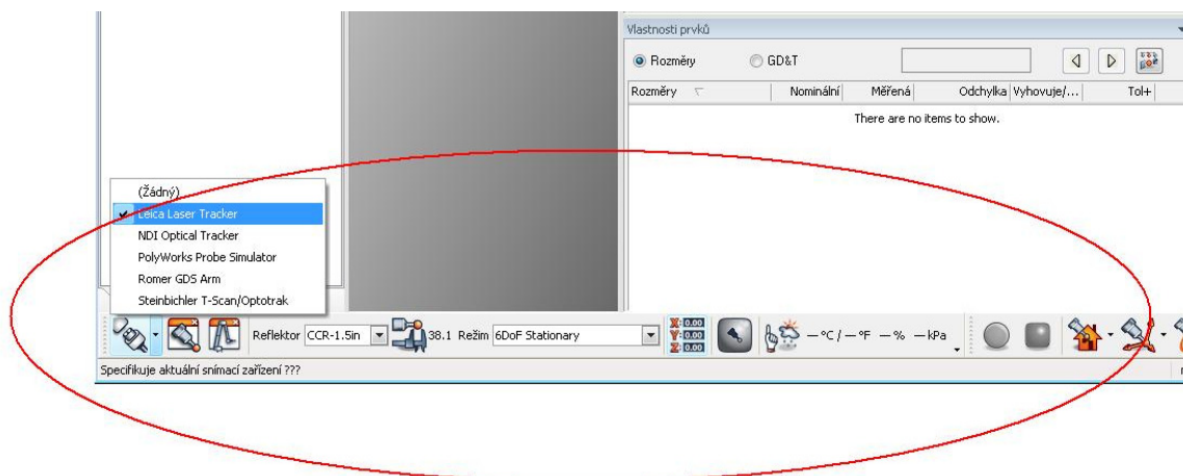
- Komplexní možnosti zpracování dat pro snímací aplikace (vícenásobné souřadnicové systémy, historie vyrovnání, správa různých zařízení a jejich pozice, statistická kontrola procesu SPC, GD&T atd.)
- Standardní nástroje pro snímání (vyrovnání na CAD, snímání prvků a řezů, porovnání vůči CAD)
- Podporu laserových trackerů
- Volné IGES, STEP, STL překladače



Obr. 18 Okno Inspektor Probing [12]

### 5.2.4 Správce měřícího zařízení a jeho připojení

Panel nástrojů Probing Device (snímací zařízení) je určen ke komunikaci a připojení s měřícím zařízením. [12]

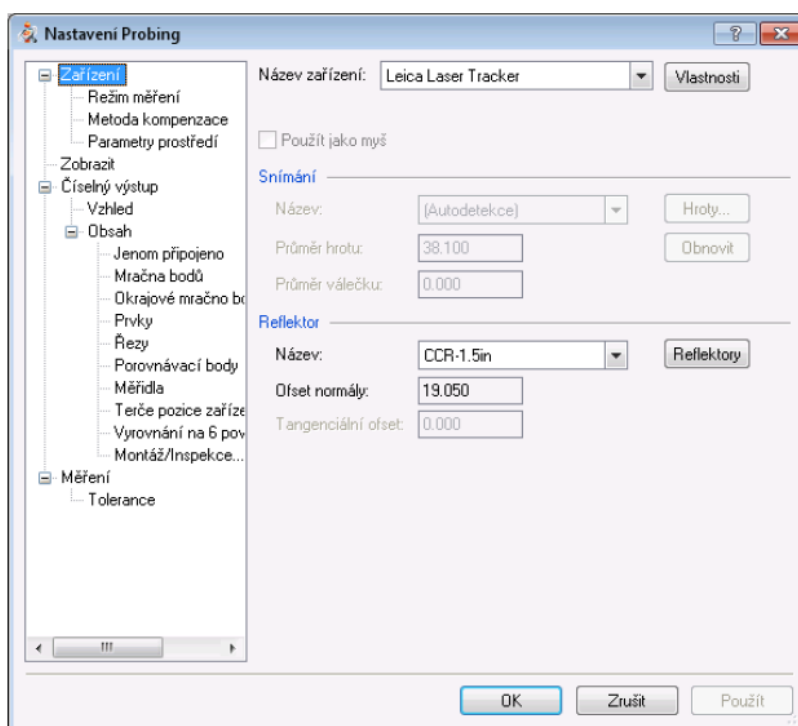


Obr. 19 Panel nástrojů Snímací zařízení [12]

#### Popis Ikon snímacího zařízení:



ikona **nastavení snímání** nám umožňuje uspořádat, seskupovat parametry měření např. design okna numerického výstupu, parametry prostředí, počáteční parametry tolerancí atd. [12]



Obr. 20 Nastavení snímání [12]



Záložka **Zařízení** nabízí možnosti přístupu k jeho vlastnostem. Pro některé typy měřicích zařízení je zde možnost definice hrotů a reflektorů. [12]

Záložka **Režim snímání** umožňuje uživateli nastavit parametry jednotlivých měření pomocí stacionárního a kontinuálního měření. Měřicí systémy podporující režim 6DOF neboli 6 stupňů volnosti by uživatel měl rozlišit, zda bude měřit s 6DOF nebo s 3DOF (3 stupně volnosti). Pro stacionární režim je v této záložce možnost zapnutí automatické stabilizace hrotu. Tato funkce nám umožní sejmutí bodu, pokud splníme stabilizační podmínky, které jsou dány parametry zpoždění a poziční tolerance. Pokud chceme měřit kontinuálním režimem, můžeme nastavit časový či vzdálenostní interval, který umožňuje automaticky snímat body v určitém režimu. [12]

Záložka **Metoda kompenzace** umožňuje specifikaci snímaných bodů. Kompenzace bývá nutná, pokud používáme hroty s nenulovým průměrem neboli ofsetem. Systematické posunutí nám vzniká u ofsetu, pomocí kompenzace se snažíme toto posunutí eliminovat.

Kompenzační bod je poslední bod po snímání, který nám udává správný směr kompenzace. (normála roviny směrem od prvku ke kompenzačnímu bodu, orientace válce od prvku ke kompenzačnímu bodu atd.) Kompenzace bodů prvku je specifikována orientací hrotu měřicího zařízení, přičemž pokud různé body mají různou orientaci, tak se do úvahy bere orientace většiny snímaných bodů.[12]

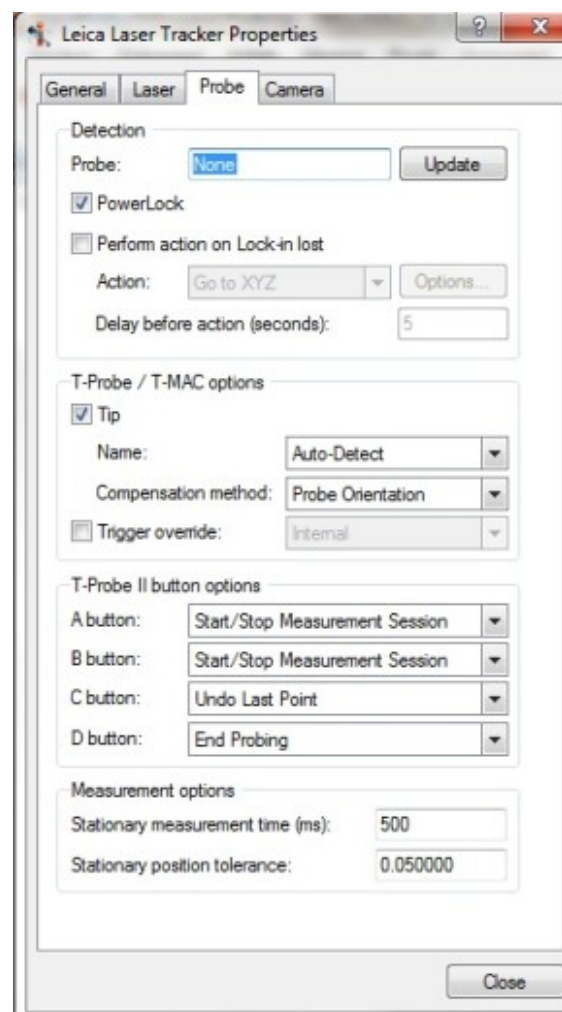
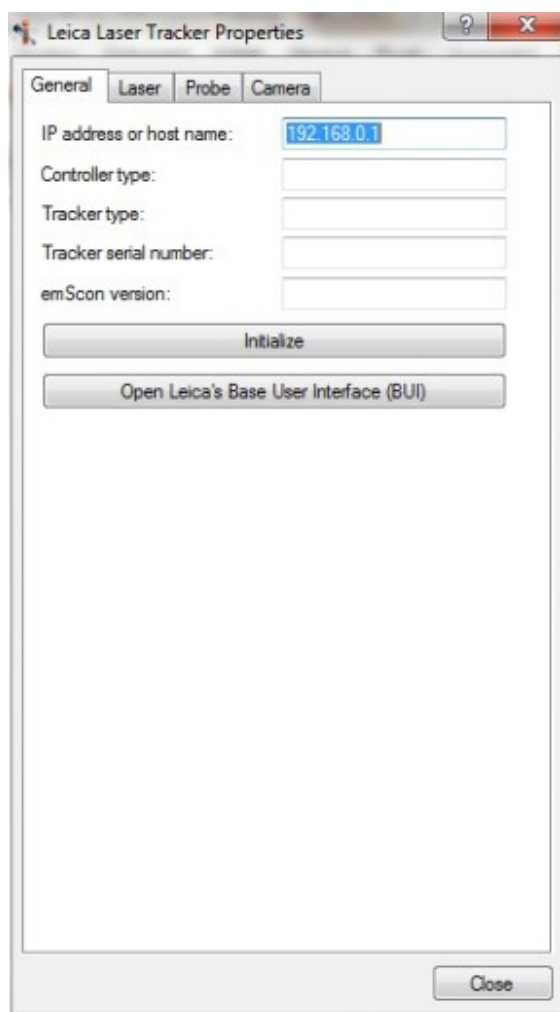
Záložka **zobrazení** umožňuje uživateli měnit parametry zobrazení objektů na 3D scéně při snímání.[12]

Pomocí **číselného výstupu** může uživatel zaměřovat vzhled a obsah okna, které nám zobrazuje aktuální polohu hrotu či poslední parametry měřeného bodu. [12]

U záložky **měření** zadává pracovník určité parametry, pro které měří aktuální součást.



Ikona **nastavení vlastnosti zařízení** - po otevření se zobrazí okno s podsložkami vlastnosti zařízení. Podsložka General nám slouží k tomu, aby komunikoval počítač s ATControllerem. Na obrázku č. 21 vidíme, že počítač má přidělenou IP adresu a tudíž komunikuje s ATControllerem. Další podsložka Probe nám slouží k orientačním nastavením snímacího zařízení T-Probe. U obrázku č. 22 vidíme možnosti T-Probe II, zde můžeme přednastavovat tlačítka, která nám slouží ke startu měření (A), stop měření (B), zpět o jeden krok (C) a k ukončení snímání (D). U měřicích možností je přednastavený čas 0.5s a tolerance 0.05mm. To znamená, že po dobu 0.5s se nesmí s používaným zařízením pohnout více než 0.05mm. [12]



Obr.21 Komunikace s ATControllerem[12]    Obr. 22 Nastavení snímacího zařízení T-Probe [12]



Ikona **připojit k zařízení** nám slouží k připojení měřicího zařízení Leica Absolute Tracker s ATControllerem. Po připojení s Leici a ATControllerem, provedeme inicializaci, čímž zkontrolujeme snímací zařízení. [12]



Ikona nám slouží k zobrazování nebo skrývání okna číselného výstupu[12]

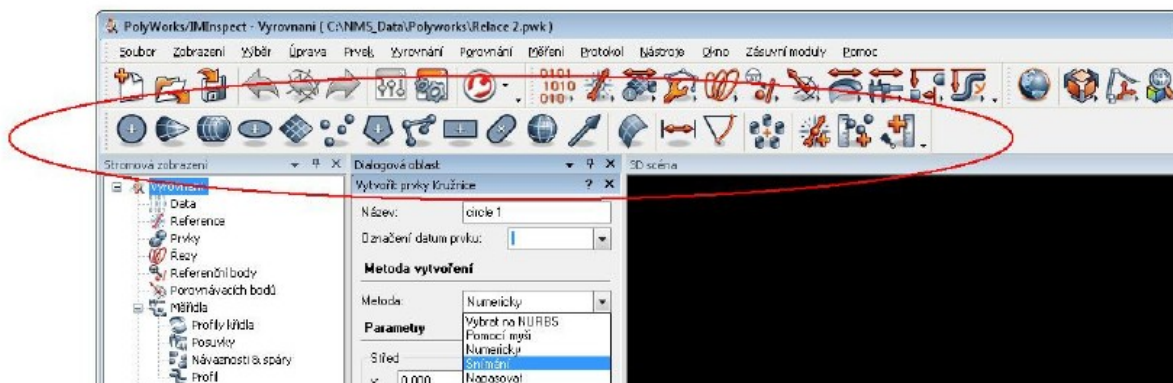


Ikona start/stop a ukončení snímání slouží k manuálnímu ovládání měření [12]



### 5.2.5 Vytváření prvků

Panel nástrojů s názvem **vytvoření prvku** je určen pro vytváření prvků



Obr. 23 Panel nástrojů vytvoření prvku [12]

Základní metody vytvoření prvku: [12]

- NURBS – pomocí myši vytváří prvky na importovaném CAD modelu
- Pomocí myši – můžeme vytvořit prvek na libovolném objektu 3D scény
- Numericky – podle zadaných číselných parametrů vytváří prvek
- Napasovat – po označení datových (snímaných) bodů vytváří prvek
- Snímání – pomocí připojeného zařízení poskytne rozhraní pro snímání prvku
- Z objektu – z jiných objektů vytváří prvek
- Z průsečíku - pomocí průsečíku z jiných objektů vytváří prvek

Každý vytvořený prvek vlastní důležité informace (název, souřadnice). Tyto informace je možné zobrazovat pomocí rolovacího menu na vybraném prvku. V rolovacím menu je naskytnuta možnost s nimi dále pracovat, jako např. měnit název prvku, mazat, modifikovat atd. [12]

#### 5.2.5.1 Vytvoření prvku pomocí snímání

Pomocí zvolené metody lze získat geometrické elementy z měřicího zařízení (T-Probe, reflektor atd.) Prvky 1D a 2D (drážka, vektor, kružnice, bod, elipsa, mnohoúhelník, pravoúhelník) musejí být definovány pomocí omezující roviny. Tato omezující rovina může být vybrána pomocí příslušného pole z existujících prvků nebo může být rovina snímána nově. V takovémto případě se musí nejdříve nasnímat omezující rovina a poté následně vytvářet prvky. U 3D prvků (kužel, válec) lze nastavit omezující rovinu, která má za následek ideální kolmost vytvořeného prvku vůči omezující rovině. Lze nastavit neomezený nebo fixní

počet bodů ke každému prvku. V případě neomezeného počtu bodů ukončíme snímání pomocí příslušného tlačítka. U fixních bodů se snímání ukončí automaticky. [12]

Pro nastavení snímání parametrů se musí dbát velké pozornosti, z důvodů možnosti nesprávného nastavení parametrů a tím může docházet ke zbytečnému prodlužování času měření nebo k vytváření různých zbytečných parametrů (např. omezující roviny) atd. [12]

Vytvořit prvky Kružnice

Název: circle 1

Označení datum prvku:

**Metoda vytvoření**

Metoda: Snímání

**Parametry**

Omezující rovina

Název: [Snímat nové]

☒ Fixní počet bodů: 3

**Metoda snímání**

☒ Menší hrot (napasovat kruh)

☐ Větší hrot (napasovat středový bod)

**Omezení snímání**

☒ Fixní počet bodů: 3

☒ Omezit body na tloušťku: 1.000

Více

Jak...

Snímání Zavřít

Obr. 24 Vytvoření prvku kružnice pomocí snímání[12]

### 5.3 Měřicí přístroj Unimaster

Unimaster je mechanický měřicí přístroj pro přímé měření vnitřních a vnějších velkých rozměrů a to až do délky několika metrů. Používá se pro přímé měření vnitřních rozměrů od 250 mm. Pro měření vnějších rozměrů se používá od 225 mm. Tento přístroj se skládá z měřicího dílu a prodloužení. [13]

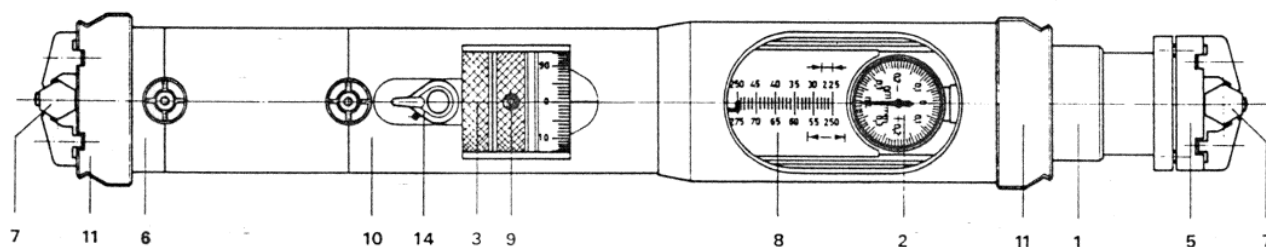


Obr. 25 Měřicí přístroj Unimaster [14]

#### 5.3.1 Příslušenství přístroje

- Šestihranné měřicí doteky s tvrdokovovým zakončením
- Měřicí díl
- Prodloužení od 25 mm až do 1000 mm
- Speciální klíč na imbusový šroub

#### 5.3.2 Popis měřicího dílu



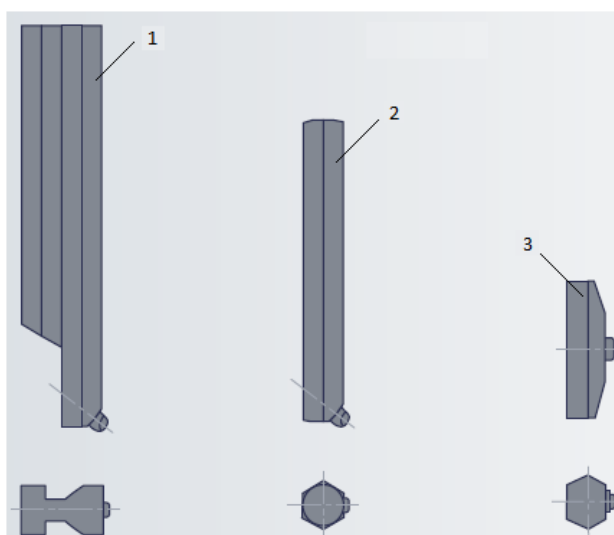
Obr. 26 Popis měřicího dílu [13]

Měřicí díl je opatřen mikrometrickým šroubem s dotykovou hlavičkou, jejíž pohyb se přenáší na číselníkový úchylkoměr. Dotyková hlavice (1) měřicího dílu je vedena kuličkovými ložisky. Tento pohyb se žáruvzdorně přenáší na číselníkový úchylkoměr (2), který má ukazatel 0,01 mm a rozpětí odchylky ukazatele max. 5μm. Otáčecí bubínek (3). Měřicí díl má na jednom konci dotykovou hlavici s pohyblivým dorazem (5), na druhém

konci je pevný doraz (6) na kterém se upevňují měřicí dotyky (7). Mikrometrický šroub má stoupání 1 mm a měřicí rozsah (8) 25 mm. Šroub (9) nám slouží k uvolnění/přitáhnutí. Matice zámku (10) nám slouží k připojení prodloužecího dílu. Paralelní plochy (11). Pomocí páčky (14) utáhneme měřidlo, jen pokud má optimální polohu. [13,14]

### 5.3.3 Šestihranné měřicí dotyky

Měřicí dotyky jsou drženy čelistmi, což umožňuje jejich upevnění v potřebné výšce. Možnosti používání hrotů jsou 3 druhy. První měřicí dotek je pro měření vnitřních rozměrů u sférických ploch, které jsou v ose přístroje. Další dotek je pro měření vnějších ploch, která má zesílené provedení, umožňující měření až do hloubky 85 mm. Poslední dotek je pro vnější a vnitřní měření s posunutými styčnými plochami pro měření až do hloubky 60 mm. [13]



Obr. 27 Měřicí dotyky: 1- vnější měření se zesíleným provedením, 2 - vnější a vnitřní měření, 3 - vnitřní měření [15]

### 5.3.4 Prodlužovací díly

Prodlužovací díly spojené na určitou délku tvoří s měřícím dílem stabilní a kompaktní celek. Každý díl se skládá z ochranné trubice a měřky příslušné délky. Zakončení ochranné trubice jsou rovnoběžná s příslušnou vnitřní měrkou. Dokonalý spoj mezi prodloužením a mikrometrickým šroubem je zajištěn pružinami. Doporučuje se použít maximálně třech prodlužovacích dotyků, kvůli její tuhosti a přesnosti měřidla. Je zakázáno opírat přístroj o mobilní doraz, mohlo by dojít k porušení dorazu a tudíž k nepřesnému měření. Nejmenší prodloužené díly se upínají vždy na stranu pevného dorazu. Prodlužovací díly mají různou délku, ale zato stejný průměr. Používají se tyto délky: 25, 50, 75, 100, 125, 150, 300, 450, 600 a 1000 mm. [13]



Obr. 28 Celá sada přístroje Unimaster [15]

Tabulka č. 1 Výrobní tolerance prodlužovacích dílů: [13]

<b>prodloužení</b> [mm]	<b>tolerance</b> [μm]
25	0.7
50	1
75	1.2
100	1.5
125	1.5
150	2
300	3.5
450	4.5
600	6.5
1000	10.5

## 6. Aplikace vybrané měřicí metody vytipované součástky

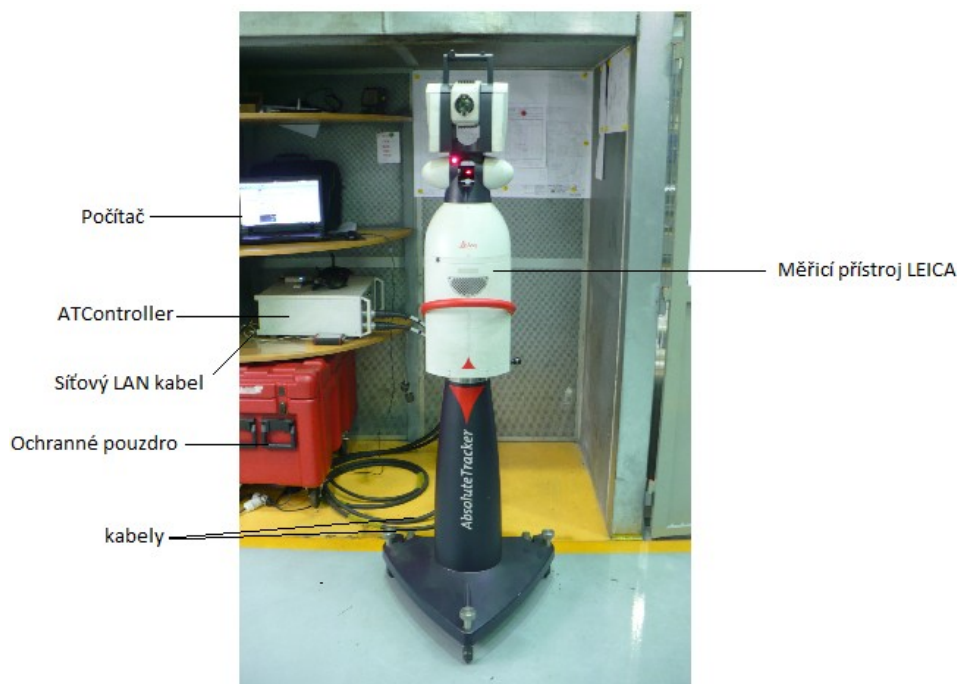
Měřený výrobek se bude měřit pomocí dvou metod. První metoda se bude provádět bezdotykově pomocí přístroje LEICA Laser Tracker AT 901 – MR. Druhá metoda se následně provede pomocí přístroje Unimaster, který vychází z principu dotykové metody. U obou těchto metod provedeme měření délky a vnitřního průměru měřené součástky. Měření provedeme se studentem a 2 pracovníky firmy. Po měření budou výsledky vyhodnoceny v tabulce.

### 6.1 Příprava měřidla Leica Laser Tracker AT 901- MR

Leica AT 901 – MR je mobilní 3D měřidlo. Tento přístroj pracuje s přesností  $\pm 0,01\text{mm}$  v pracovním prostoru  $10 \times 5 \times 2,5\text{m}$ . Pokud měříme mimo pracovní prostor tak přesnost měření se zvyšuje o  $1\text{m} = 0,005\text{mm}$ . Převáželo se pomocí pevně odolného ochranného pouzdra (bedna). Zařízení bylo nutné sestavit, připojit a zapnout. Po vyložení a sestavení měřidla se musel připojit příslušný motorový a senzorový kabel s ATContollerem a následně připojit pomocí síťového LAN kabelu s přenosným počítačem (notebook). Na počítači bylo nutné mít nastavenou IP adresu. Správné připojení šlo ověřit pomocí aplikace Transfer Tool. Po zmáčknutí testu se musí objevit odpověď s názvem „File Transfer Connection OK“. Pokud bylo vše správně zapojeno, mohlo se začít s temperováním Leici. Dokud se na přístroji nerozsvítila zelená dioda, nemohli jsme začít na přístroji pracovat. Po uplynutí nějaké doby (temperování cca 15 minut) se na diodě rozsvítilo zelené světlo. To nám dalo signál, že můžeme začít měřit. Provedeme kalibraci hrotu (Obr. 15.2). Mohli jsme kalibrovat různé druhy hrotů pro T-Probe. Hrot se nejdříve musel poskládat s originálních dílců k měřicí sondě T-Probe. Po složení dílů se zapne kalibrace jakýmkoliv tlačítkem na T-Probe a snažili jsme se zachytit potřebný laserový paprsek. Pokud se dioda rozsvítila žlutou barvou a T-Probe zahrál melodii pro správné připojení, tímto mohlo dojít k samotné kalibraci. Po spuštění emSconu (zabezpečuje rozhraní mezi laserovým trackerem a okolím) se dojde k zadání potřebných bodů pro kalibraci (délka hrotu, průměr kuličky atd.). Hrot s kuličkou T-Probe se vložil do kalibrovacího hnízda a libovolným tlačítkem na T-Probu se zahájila kalibrace, kde se pohybovalo s hrotem kuličky tak dlouho, dokud T-Probe nezahrál melodii. Po ukončení kalibrace (automaticky se ukončí) se zkontrolovala tabulka kalibrovaných dat. Pokud se v tabulce objevili žluté nebo červené pole, tak došlo k chybné kalibraci a museli jsme kalibraci opakovat. Pokud všechno dopadlo v pořádku (žádné červené nebo žluté pole)



uložíme tyto data kalibrovaného hrotu do softwaru emScon. Tyto data jsou vždy načítány ze softwaru emScone, když použijeme příslušný zkalibrovaný hrot k sondě T-Probe.



Obr. 29 Připojené měřidlo Leica AT 901-MR

Na obrázku č. 29 vidíme měřicí přístroj Leica, který se připojuje pomocí kabelů k ATControlleru. ATController se připojuje pomocí síťového kabelu s počítačem nebo pomocí Wifi. Pod ATControllerem vidíme červené ochranné pouzdro pro měřicí přístroj.



Obr. 30 Pracovní plocha

Na obrázku č. 30 lze vidět pracovní plochu pro měřicí přístroj Leica. Tento prostor je ohraničen zelenou barvou. Pracovní prostor má parametry obdélníku 10 x 3 metry. V tomto pracovním

prostoru lze vidět pracovní stůl, který není pevně uložen. Manipulace s pracovním stolem se provádí pomocí mostového jeřábu.

## 6.2 Příprava měřícího výrobku pro Leica Laser Tracker AT 901- MR

Tento asynchronní elektromotor se používá v prostředí nebezpečí výbuchu (doly atd.). Jeho konstrukce znemožňuje vznícení ve výbušné atmosféře v důsledku místního povrchového přehřátí. Zabraňuje šíření požáru z vnitřního prostoru motoru do vnějšího prostředí s výbušnou atmosférou, která je tvořena vzduchem. Tento motor se může využívat v prostředí při teplotě  $\pm 40^{\circ}\text{C}$ . Všeobecné požadavky na tento motor jsou shrnuty v normě ČSN EN 60079-0.

Měřící výrobek se přesouvá na dřevěných paletách z obrobny na měřící pracoviště pomocí vysokozdvizného vozíku. (obr. 31). Výrobek se uchytil na čtyřech místech pomocí vázacích vysokopevnostních řetězů s nosností až do 30 tun (obr. 32). Tento výrobek se do pracovního prostoru Leici přenáší pomocí mostového jeřábu o nosnosti 12 500 kg s pomocným zdvihem 5 000 kg (obr. 33). Mostový jeřáb se ovládá dálkovým ovladačem. Dbali jsme na to, aby se dodržela bezpečnost práce, neboť výrobek vážil 1 600 kg. Bezpečně se přepravil a ustavil výrobek na pracovním stole (obr. 34). Odháknu-li se vázací řetězy a převezli mostový jeřáb na bezpečné místo. Tímto se výrobek přesunul na pracoviště a mohli jsme začít měřit



Obr. 31 Výrobek

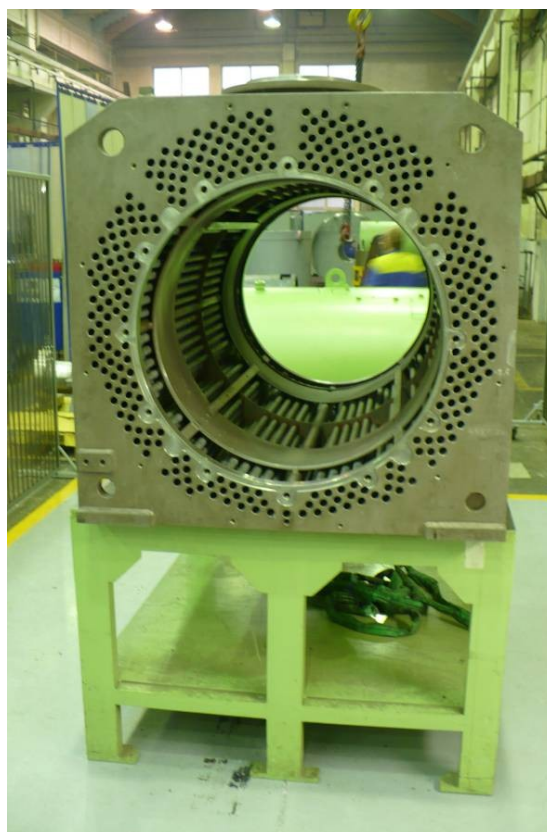




Obr. 32 Uchycení pomocí řetězů



Obr. 33 Přenesení výrobku

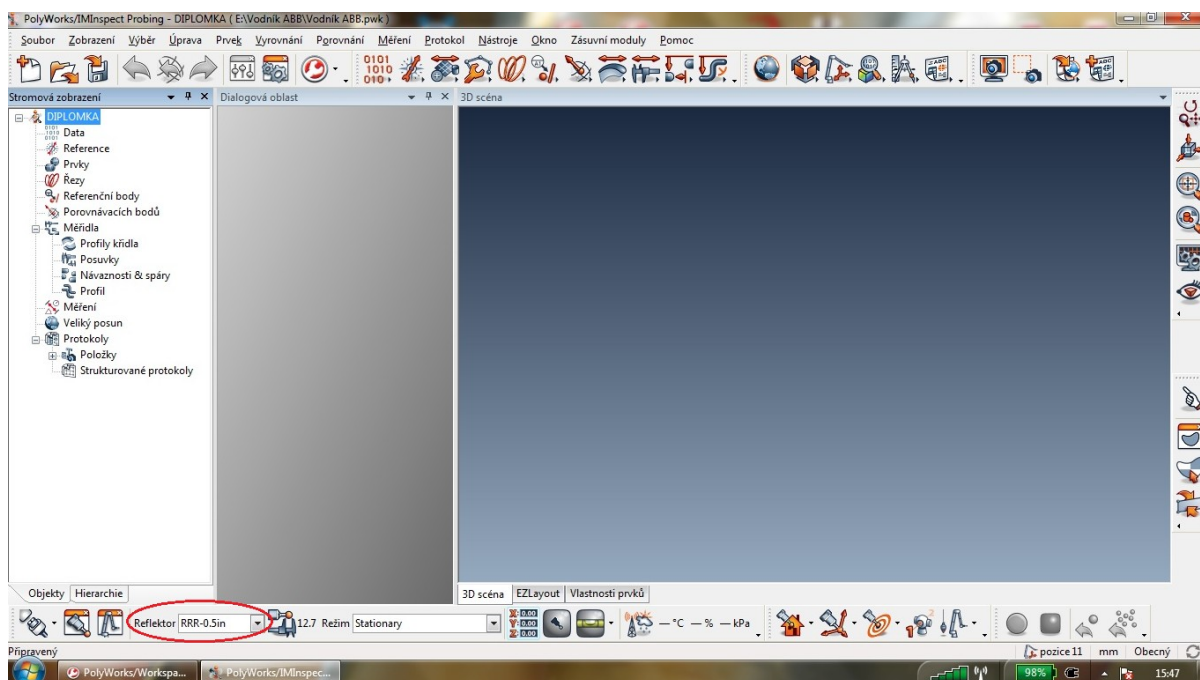


Obr. 34 Ustavení výrobku na pracovním stole

### 6.3 Měření na přístroji Leica Laser Tracker AT 901-MR

V měřicím prostoru u Leica Laser Tracker byl sestaven měřicí přístroj a ustálen měřicí výrobek na pracovním stole. Měli jsme vše potřebné k tomu, aby se začal měřit vytipovaný výrobek. Přenosný počítač (notebook) měl nainstalovaný software PolyWorks (viz. kapitola 2.2), se kterým je Leica kompatibilní.

**Postup měření** se začal dvojklikem na ikonu PolyWorks, kde se nám otevřel pracovní manažer Work space (obr. 17), kde se kliklo na IMInspect Probing. (obr. 35) Název této pracovní relace byl DIPLOMKA.

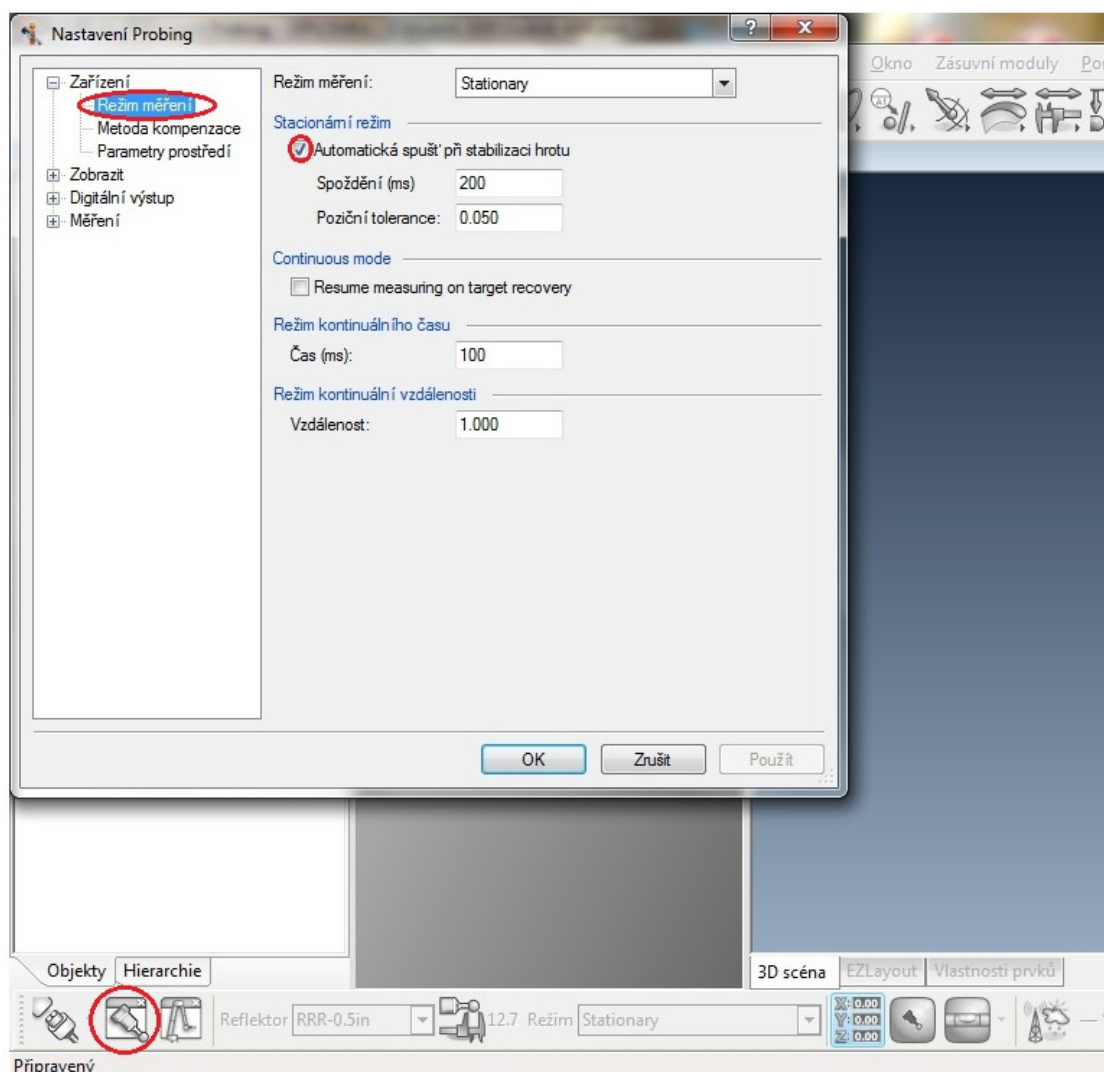


Obr. 35 IMInspect Probing

Poté klikneme na ikonu s názvem **Nastavení snímání**, která se nachází v levém dolním rohu na panelu nástrojů snímacího zařízení (obr. 36). Po otevření nastavení snímání se objeví dialogové okno. Zde se kliklo na režim snímání a v oblasti Stacionárního režimu zaklikneme Automatická spoušť při stabilizaci hrotu, kde se nastavilo 200 ms u zpoždění s poziční tolerancí 0,05 mm.

Na panelu nástrojů můžeme nastavit reflektorovou kuličku - přepíná se automaticky. Po rozkliknutí reflektoru se nám nabízel dva typy reflektorové kuličky. Jedna o velikost 12.7 mm (0,5“) a druhá o velikosti 38.1 mm (1.5“).

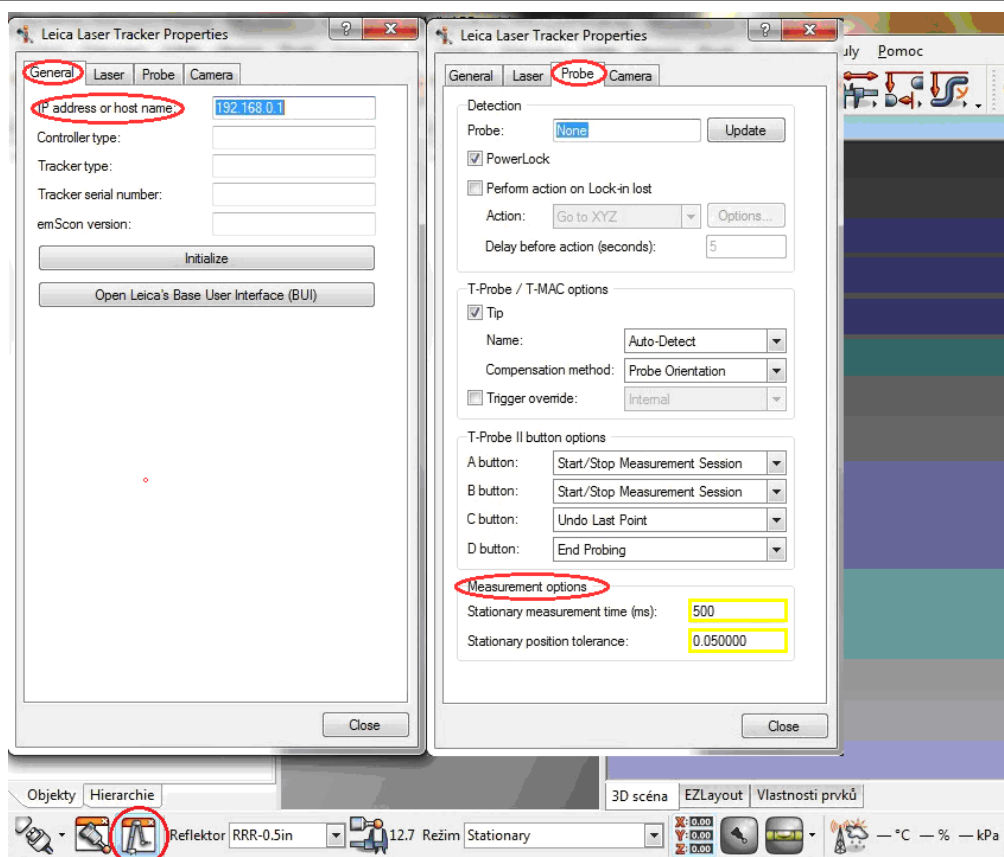
Zaklikneme reflektorovou kuličku o velikosti 12.7 mm (0,5“), se kterou budeme později pracovat. Na obrázku č. 35 ji lze vidět v zakroužkované oblasti.



Obr. 36 Nastavení snímání

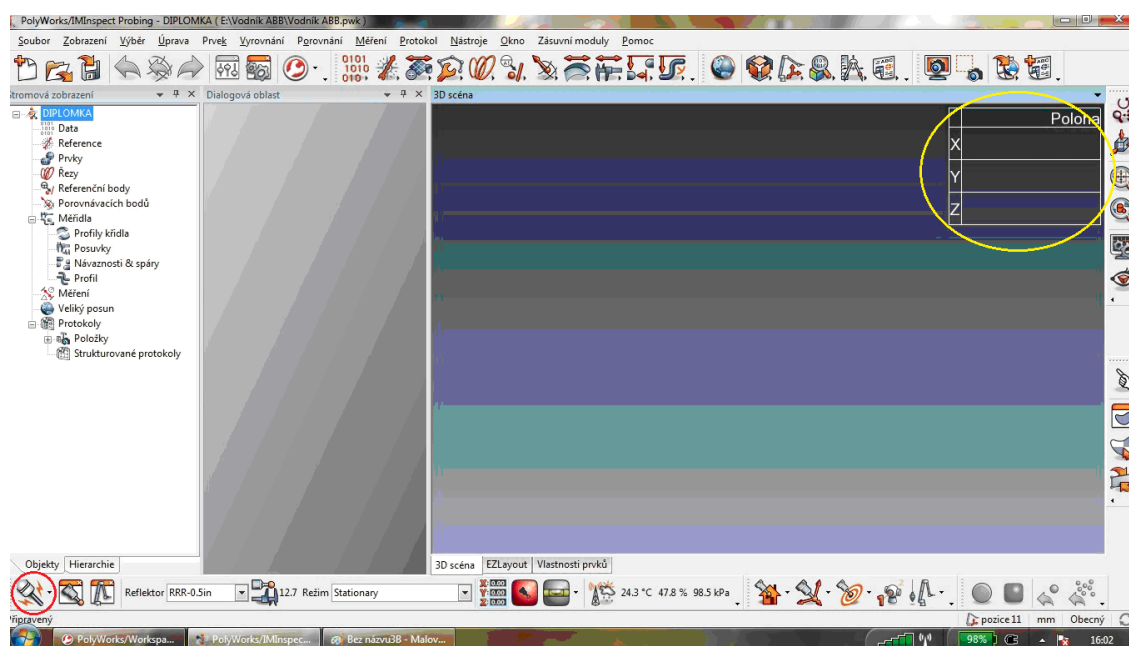
Následně se kliklo na ikonu s názvem **Vlastnosti zařízení**, kde se objevilo dialogové okno s možnostmi připojeného zařízení. Jako první jsme v sekci *General* (obr. 37), kde se zjistilo, zda jsme správně připojeni s Leica Laser Tracker. Vidíme, že IP adresa komunikuje s ATContollerem (okno IP 192.168.0.1).

Poté se kliklo na záložku *Probe* (obr. 37), kde se zobrazilo orientační nastavení T-Probe. Zde jsme se nastavili měřicí vlastnosti (Measurement option), klikli jsme na políčko stabilní měřicí čas (Stationary measurement time) a nastavili 500 ms a následně nastavili také Stabilní poziční toleranci (Stationary position tolerance) na 0.05 mm. To znamenalo, že po dobu 0.5 sekund se T-Probe nesměl pohnout více než 0.05 mm. Pokud je to bylo více než zmiňované nastavení, tak T-Probe nezaznamenal žádný signál.



Obr. 37 Vlastnosti zařízení

V softwaru PolyWorks bylo nastaveno všechno potřebné k měření s Leicou. Klikneme na další tlačítko s názvem **Připojit k zařízení**, které je umístěno úplně v levém dolním rohu na panelu nástrojů snímacího zařízení. Po připojení Leici se nám objeví v pravém horním rohu v pracovním prostředí tabulka se souřadnicemi X, Y, Z. (obr. 38)



Obr. 38 Připojení Leica Laser Tracker



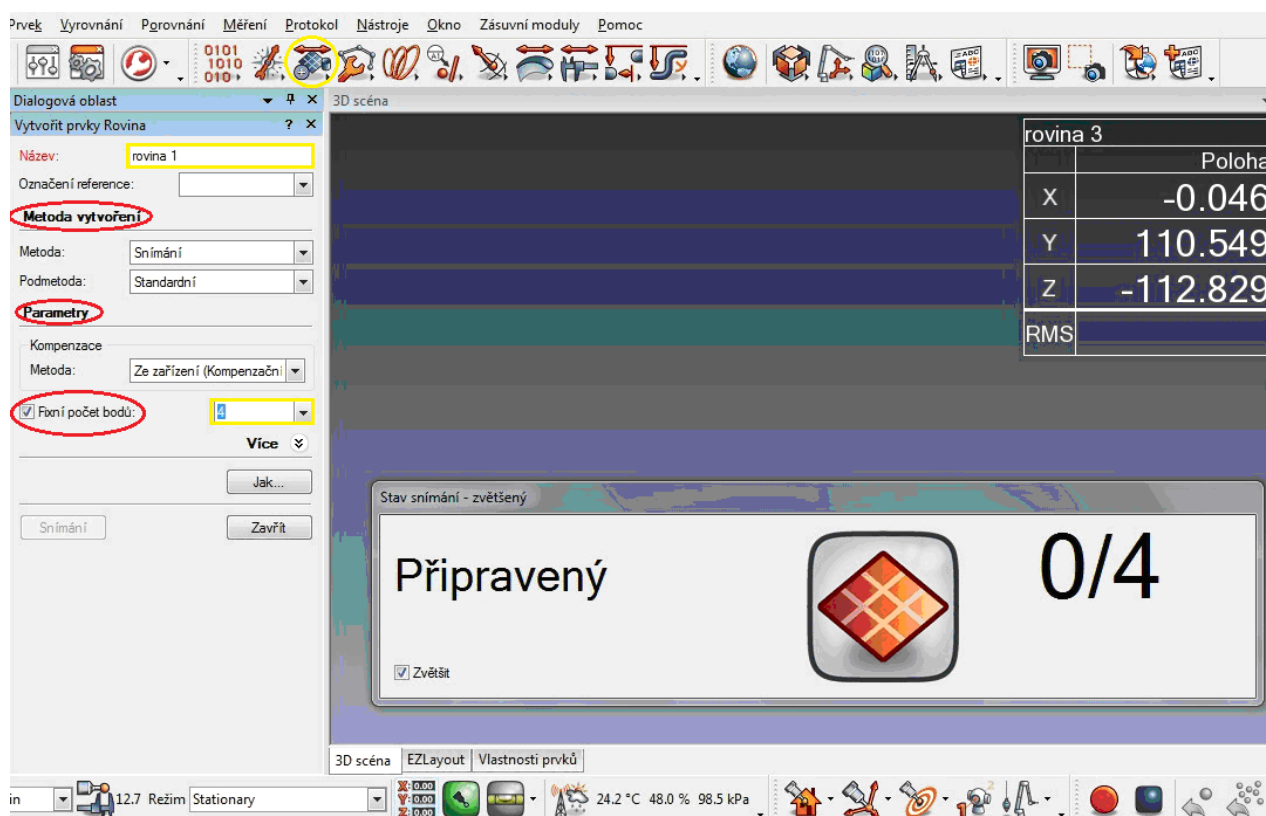
Po připojení přístroje Leici klikneme na ikonku s názvem **Výchozí pozice**, která je umístěná dole na středu panelu snímacího řízení (domeček). Na přístroji Leica je ze zadu umístěn magnet pro uchycení reflektorové kuličky. Na tomto místě se setká reflektorová kulička s laserem z Leici a tímto se dostane výchozí pozice reflektorové kuličky. (obr. 39)



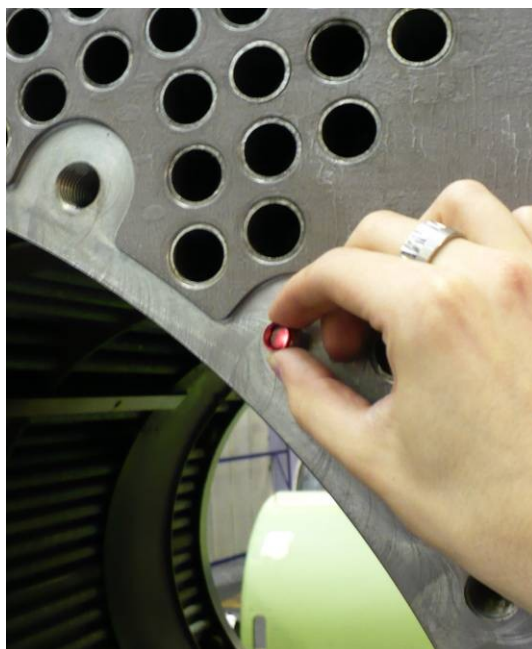
Obr. 39 Výchozí pozice Reflektorové kuličky

Na horním panelu klikneme na ikonku **vytváření prvků**, která se nám rozklikne na různé prvky, které můžeme snímat (obr. 21). Pro naše měření nás budou zajímat rovina a kruh. Jako první potřebujeme snímat rovinu. Klikneme na ikonku *rovina*. Otevře se nám dialogová oblast pro vytvoření roviny. Do kolonky název napíšeme rovina 1. Metoda pro vytvoření roviny bude pomocí snímání. V parametrech můžeme zadat libovolný počet fixních bodů. My si zvolíme 4 fixní body pro určení roviny. Pokud máme vše potřebné nastaveno, objeví se dialogové okno s počtem fixních bodů pro rovinu. Dialogové okno nám hlásí, že stav snímání je připraven (obr. 40). Můžeme začít měřit. Vezmeme reflektorovou kuličku a najdeme laserový paprsek. Pokud laserový paprsek nemůžeme najít, pomůžeme si pomocí své ruky. Najdeme na ruce hledaný laserový paprsek a pomocí druhé ruky, ve které držíme reflektorovou kuličku, paprsek chytíme. Snažíme se paprsek neztratit. Reflektorovou kuličku držíme pevně v ruce a přiložíme ji na povrch snímané součásti (obr. 41). Tuto kuličku držíme na snímaném povrchu tak dlouho, než se nám na počítači objeví v dialogovém okně snímání potřebný nasnímaný bod. Jak se objeví číslo 1/4 tak to znamená, že bod byl nasnímaný a můžeme pokračovat na další bod. V tomto pokračujeme do té doby, než budeme mít nasnímané číslo 4/4. Máme nasnímané 4 body, tudíž jsme definovali rovinu. Tato rovina se

nám objeví ve stromovém zobrazení s názvem rovina1 a také se objeví jako 3D obrazec ve 3D scéně (obr. 42)



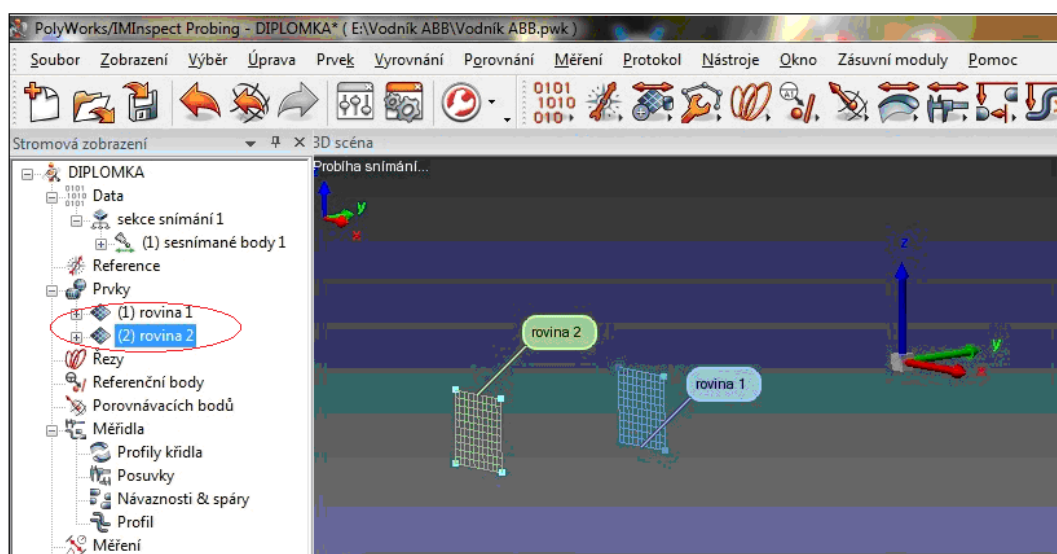
Obr. 40 Vytvoření prvku - roviny 1



Obr. 41 Snímání roviny pomocí reflektorové kuličky

Máme nasnímanou rovinu 1 a můžeme pokračovat v definování druhé roviny. Pro vytvoření roviny 2 postupujeme stejně jako u roviny 1. Po definování roviny se nám objeví dialogové okno s počtem fixních bodů a stav snímání nám ukazuje, že je přístroj připraven.

Vyměníme reflektorovou kuličku za T-Probe, protože s kuličkou nepůjde zachytit laserový paprsek (měření na druhé straně měřeného výrobku). T-Probe držíme v ruce a dbáme na to, aby nám T-Probe nespádl. Na to slouží zadní úchyt. Držíme T-Probe v jedné ruce a druhou rukou jemně přitlačíme zvolený hrot na naměřený povrch (obr. 43 a 44). Tím ustálíme vibrace nebo třes ruky. Po ustálení se na počítači objeví 1/4 a to nám dává znamení, že se máme s T-Probem přesunout na další snímání bod. Po snímání 4 bodů se v dialogovém okně objeví 4/4. Těmito body jsme definovali rovinu 2. Tato rovina se nám objeví ve stromovém zobrazení s názvem rovina 2 a následně se objeví jako 3D obrazec ve 3D scéně. (Obr. 42)



Obr. 42 Nasnímané roviny 1 a 2 ve 3 D scéně



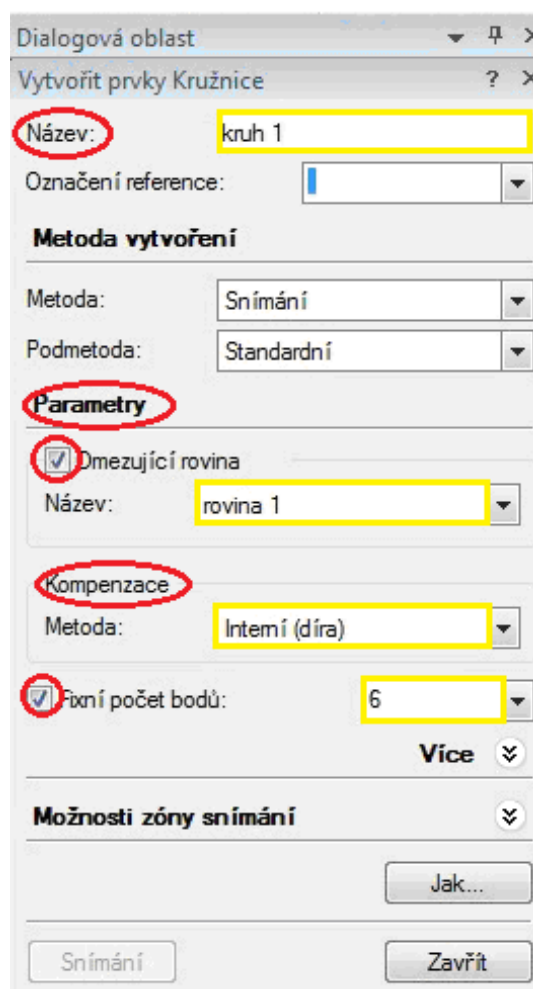
Obr. 43 Snímání s T-Probe



Obr. 44 Snímání roviny 2 s T-Probe

Na horním panelu klikneme na ikonku vytváření prvků, která se nám rozklikne a my zvolíme prvek kružnice. Otevře se nám dialogová oblast pro vytvoření kružnice. Do kolonky

název prvku napíšeme kruh 1. Metoda vytvoření kruhu bude pomocí snímání. V parametrech musíme zakliknout omezující rovinu a vybereme z obou nasnímaných rovin rovinu1. V kompenzaci nastavíme Interní (díra) a zaklikneme počet fixních bodů. My si zvolíme 6 bodů, protože čím více bodů tím je přesněji definována kružnice (obr. 45). Pokud máme vše potřebné nastaveno, objeví se dialogové okno s počtem fixních bodů, můžeme začít měřit kružnici. Vezmeme do ruky reflektorovou kuličku o průměru 12 mm a pevně ji držíme na vnitřní straně kruhu (obr. 46) měřené součásti tak dlouho, než se na počítači objeví v dialogovém okně číslice 1/6. Tzn., že bod byl nasnímaný a můžeme pokračovat na další snímané body. To opakujeme až do čísla 6/6. Pokud máme nasnímané všechny potřebné body, máme definovanou kružnici s názvem kruh 1. Tato kružnice se objeví ve stromovém zobrazení a v pracovní 3D scéně (obr. 47).

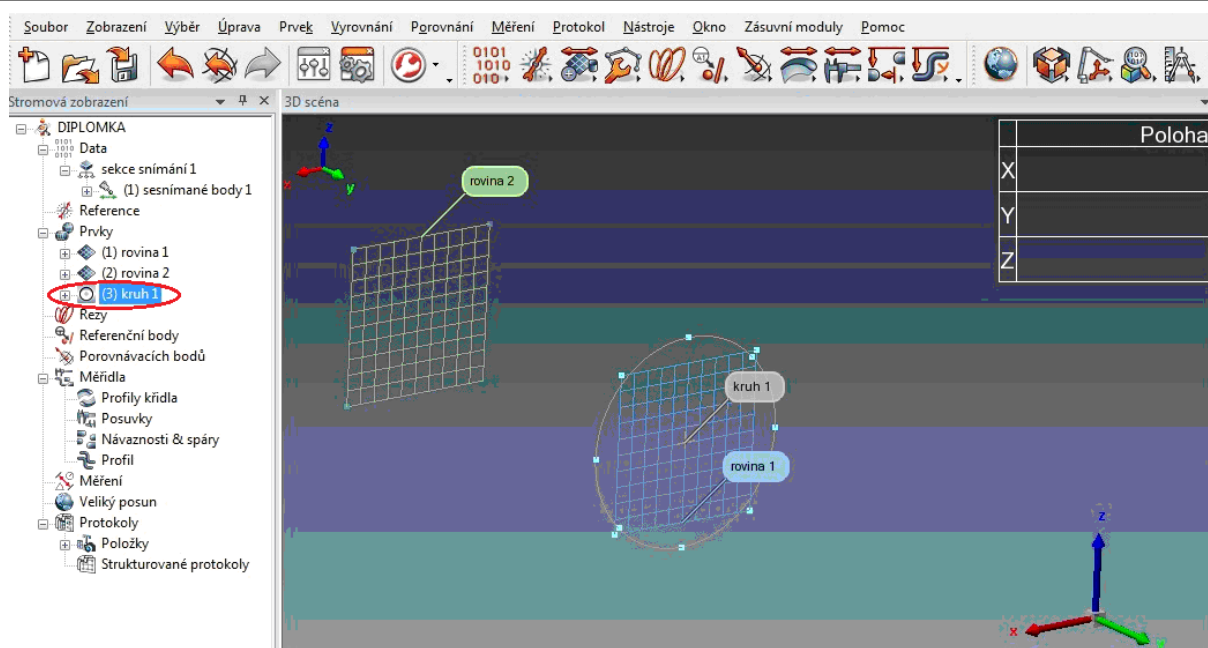


Obr. 45 Vytvoření kružnice



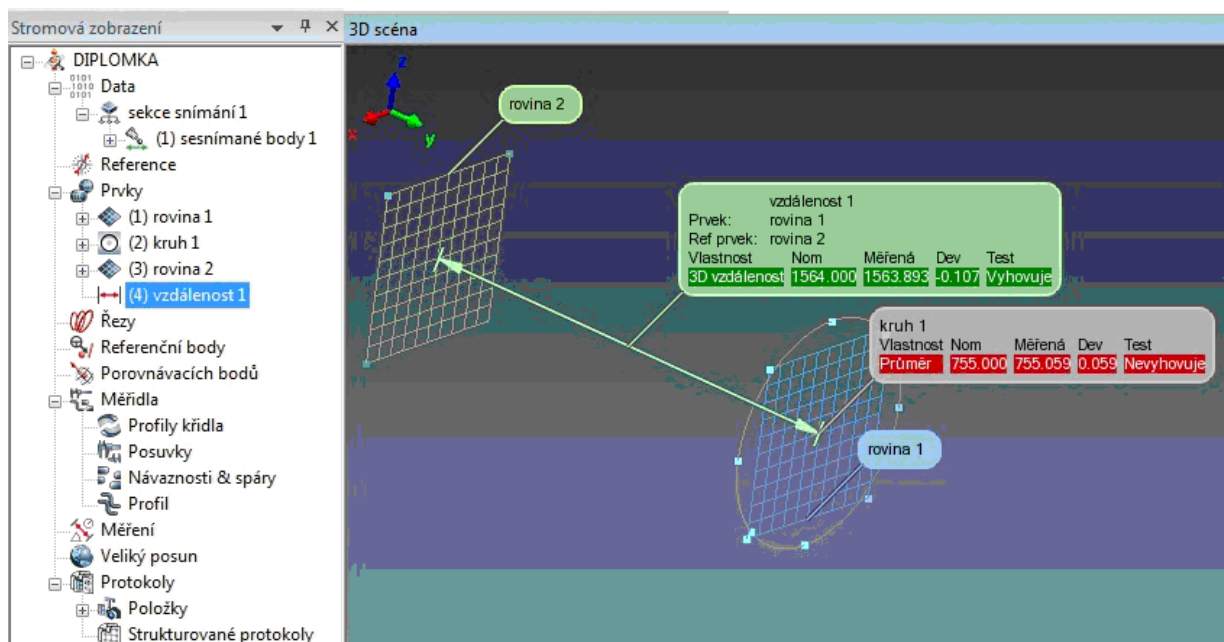
Obr. 46 Snímání kružnice s reflektorovou kuličkou





Obr. 47 Nasnímaná kružnice v rovině 1 ve 3D scéně

Nyní jsme si definovali dvě navzájem kolmé roviny a kružnici na rovině 1. Chceme zjistit vzdálenost mezi nasnímanými rovinami (tzn. délku součásti). Proto na panelu nástrojů v sekci vytváření prvků klikneme na ikonku vzdálenost. Zde v dialogovém okně nastavíme použít rovinu 1 a rovinu 2 pro určení vzdálenosti. Tato vzdálenost se nám objeví ve stromovém zobrazení a ve 3D scéně (obr. 48).



Obr. 48 Určení vzdálenosti mezi rovinami 1 a 2

Po vyznačení jednoho nebo více prvků (musí být stejného typu) se po kliknutí pravého tlačítka myši dostaneme na vlastnosti prvků. Různé vlastnosti můžeme aktivovat nebo

deaktivovat pomocí zaškrtnutí políčka na začátku daného prvku. My si zaškrtneme políčka průměr a 3D vzdálenost. Zde můžeme u těchto zaškrtnutých prvků také pracovat s jejími tolerancemi. Napíšeme k průměru toleranci z výkresu, která je  $^{+.04}_0$  mm a vzdálenost, která má toleranci  $\pm 1.2$  mm. Tyto vybrané vlastnosti se nám zobrazí ve 3D scéně.

Tato vlastnost je velice užitečná, protože se nám automaticky ve 3D scéně objeví u naměřené veličiny výsledek (obr. 48). Tento výsledek se nám objeví, se slovem vyhovuje (zelená barva) nebo nevyhovuje (červená barva). (obr. 49)

Rozměry	Nominalní	Měřená	Odchylka	Vyhovuje/Nevyhovuje	Td+	Td-
<input checked="" type="checkbox"/> Průměr	755.000	755.059	0.059	Ne vyhovuje	0.060	0.000
<input type="checkbox"/> Poloměr		12.702				
<input type="checkbox"/> X/Y Angle		N/A				
<input type="checkbox"/> Y/Z Angle		90.000				

Obr. 49 Vlastnosti prvků

Pokud chceme opakovat měření, musíme tyto nasnímané prvky označit modře. Po označení klikneme pravým tlačítkem myši a vybereme možnost **snímat měřené prvky**. Tyto všechny označené prvky snímáme znovu. Nemusíme už nic nastavovat, stačí pouze měřit. Jako první měříme rovinu 1. Po snímání roviny 1 se nám automaticky přepne na snímání kružnice 1 a po ukončení kružnice 1 se opět automaticky přepne na snímání roviny 2. Přepíná se automaticky podle toho, jak to máme nastavené ve stromovém zobrazení. Po každém měření si zapíšeme naměřené data do tabulky.

## 6.4 Příprava měřidla UNIMASTER

Nejdříve si zjistíme přesnou hodnotu, kterou budeme měřit. Z výkresu vyčteme hodnotu na měření pro průměr, který je  $755^{+0.04}_0$  mm a délku výrobku  $1564 \pm 1.2$  mm. Podle těchto hodnot si nachystáme prodlužovací díly. Nejdříve začneme měřit průměr  $755^{+0.04}_0$  mm a poté budeme měřit délku  $1564 \pm 1.2$  mm.

### 6.4.1 Nastavení přístroje Unimaster pro vnitřní měření:

Pokud chceme začít správně měřit, musíme nejdříve seřadit měřidlo. To provedeme pomocí nastavné měrky (Obr. 50). Tato nastavovací měrka má hodnotu pro vnitřní rozměr 249.998 mm. Měřicí doteky pro vnitřní měření upevníme do dotkových hlavíc. Vložíme dotky do pohyblivého dorazu a utáhneme (Obr. 51). Montujeme tyto doteky tak, aby byli co nejbližší k ose přístroje. Přizpůsobení měřicího dílu pro vnitřní měření provedeme otočením šroubu po směru hodinových ručiček.

Po upnutí doteků vezmeme měřicí díl a položíme na rovnou plochu vedle nastavné měrky. Na přístroji otáčíme bubínkem tak dlouho, než na přístroji nastavíme hodnotu 250 mm spodního měřítka. Po nastavení hodnoty 250 mm si uvolníme šroub. Následně položíme měřicí díl na nastavnou měrku se vtlačení pohyblivého dorazu (obr. 52). Poté uvolníme pohyblivý doraz.

Princip seřízení je takový, že hledáme optimální polohu měřidla pomocí naklánění v ose „y„ a „z„. Po nalezení optimální polohy otočíme s bubínkem a tím nastavíme číselníkový úchylkoměr na nulu. Nesmíme zapomenout na utáhnutí páčky. Dělený bubínek nastavíme na míru uvedenou na nastavné měrce. Tímto jsme seřídili měřicí přístroj pro vnitřní měření.

Nyní si můžeme sestavit měřidlo pro průměr 755 mm. Očistíme si kontaktní plochy měřicího dílu a pevného dorazu. Povolíme imbusový šroub pro uvolnění kruhové pružiny (obr. 12), tento šroub povolíme pomocí speciálního klíče. Matice zámku č. 10 (obr. 24) umístíme proti vrubu na měřicím dílu a nakloníme pevnou zarážku dle (obr. 53). Prodlužovací části v délce 450 mm a 50 mm spojíme s přístrojem mírným tlakem ve směru A, a pohybem ve směru B jak je vidět na (obr. 53). Obě paralelní plochy č. 11 na (obr. 24) vyrovnáme tak, že přístroj položíme na rovnou plochu (obr. 54) a utáhneme zámek šroubem. Prodlužovací díl s hodnotou 50 mm vložíme jako první na stranu pevného dorazu, po spojení pokračujeme s prodlužovacím dílem 450 mm, pokaždé musíme očistit kontaktní plochy. Po spojení všech

potřebných měřicích dílů (Obr. 55) jsme nyní schopni měřit vnitřní průměr na vytipované součásti.



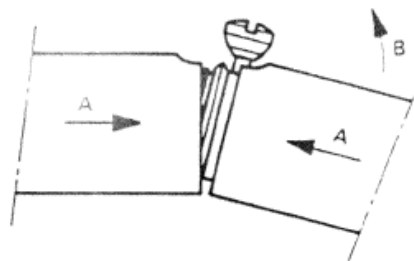
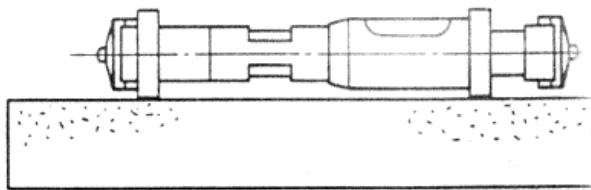
Obr. 50 Nástavná měrka



Obr. 51 Uchycení měřicích dotyků



Obr. 52 Nastavení nuly pomocí nas

53 Složení a rozložení  
prodlužovacích dílů [13]

Obr. 54 Přístroj položený na



Obr. 55 Sestavené měřidlo pro vnitřní měření

### 6.4.2 Nastavení přístroje Unimaster pro vnější měření:

Nejdříve si musíme seřídít měřidlo pro vnější měření. To provedeme pomocí nastavné měrky (Obr. 50). Nastavovací měrka má hodnotu pro vnější rozměr 225.007 mm. Nachystané měřicí doteky pro vnější měření upevníme do dotykových hlavic. Dotyky vložíme do pohyblivého dorazu a utáhneme (Obr. 57). Snažíme se tyto doteky utáhnout tak, aby byli co nejbližší k ose přístroje. Přizpůsobení měřicího dílu pro vnější měření provedeme otočením šroubu proti směru hodinových ručiček.

Po upnutí doteků vezmeme měřicí díl a na něm otáčíme bubínkem tak dlouho, než na přístroji nastavíme hodnotu 225 mm horního měřítka. Po nastavení hodnoty 225 mm si uvolníme šroub. Následně položíme měřicí díl na nastavovací měrku s venkovními vytaženými pohyblivými dorazy (Obr. 56).



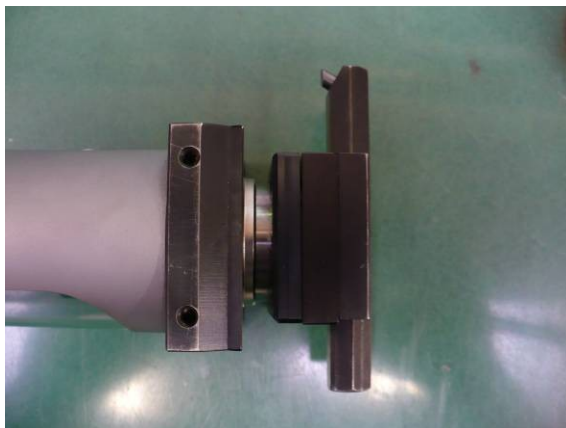
Obr. 56 Nastavovací měrka pro vnější měření

Princip seřízení je takový, že hledáme optimální polohu měřidla pomocí naklánění v ose „Y“, a „Z“. Po nalezení optimální polohy otočíme s bubínkem a tím nastavíme číselníkový úchylkoměr na nulu (Obr. 52). Nesmíme zapomenout na utáhnutí páčky. Dělený bubínek nastavíme na míru uvedenou na nastavné měrce. Tímto jsme seřídili měřicí přístroj pro vnější měření.

Nyní si můžeme sestavit měřidlo pro délku  $1564 \pm 1,2$  mm. Očistíme si kontaktní plochy měřicího dílu a pevného dorazu. Povolíme imbusový šroub pro uvolnění kruhové pružiny (obr. 12), tento šroub povolíme pomocí speciálního klíče (Obr. 58). Matice zámku č. 10 (obr. 24) umístíme proti vrubu na měřicím dílu a nakloníme pevnou zarážku dle (obr. 53). Prodlužovací části v délce 1000 mm, 300 mm a 25 mm spojíme s přístrojem mírným tlakem ve směru A, a pohybem ve směru B jak je vidět na (obr. 53). Obě paralelní plochy č. 11 na (obr. 24) vyrovnáme tak, že přístroj položíme na rovnou plochu (obr. 54) a utáhneme zámek šroubem. Prodlužovací díl s hodnotou 25 mm vložíme jako první na stranu pevného dorazu,



po spojení pokračujeme s prodlužovacím dílem 300 mm a naposledy vložíme díl 1000 mm. Pokaždé musíme očistit kontaktní plochy. Po spojení všech potřebných měřících dílů (Obr. 59) jsme nyní schopni měřit délku na vytipované součásti.



Obr. 57 Vnější dotyk



Obr. 58 Utáhnutí a odtáhnutí prodlužovacích dílů pomocí speciálního klíče



Obr. 59 Sestrojená délka 1564 mm

## 6.5 Příprava měřící součásti pro Unimaster

Měření pro přístroj Unimaster probíhalo na pracovním stole u Leici, protože měřený výrobek by musel být znovu převezen pomocí mostového jeřábu a následně pracovníkem na měřící pracoviště pro Unimaster. Tímto postupem bychom ztratili spoustu seřizovacího času a zaměstnali dalšího pracovníka. Proto bylo vhodnější ponechat měřený výrobek na pracovišti Leici. Ustavený výrobek měl stejnou polohu jako při měření pomocí přístroje Leica Laser Tracker (obr. 34).

## 6.6 Měření pomocí přístroje Unimaster

### 6.6.1 Měření průměru 755 mm

Po kalibrování a sestavení měřidla jsme se přesunuli s měřidlem k měřicímu pracovišti Leica. Měřicí přístroj jsme umístili na vnitřní část měřené kruhové plochy o  $\varnothing 755^{+0.04}_0$  mm. Na přístroji jsme hledali ideální polohu pro zaznamenání měřené hodnoty. Na obrázku 57

vidíme vnitřní měření průměru s přístrojem Unimaster. Měření bylo provedeno s 2 pracovníky firmy a jedním studentem. Každý pracovník a student měřili 10 hodnot. Měření bylo provedeno na různých místech uvnitř měřené kruhové plochy. Tyto výsledky byly poté zaznamenány v tabulce.



Obr. 60 Vnitřní měření průměru s přístrojem Unimaster

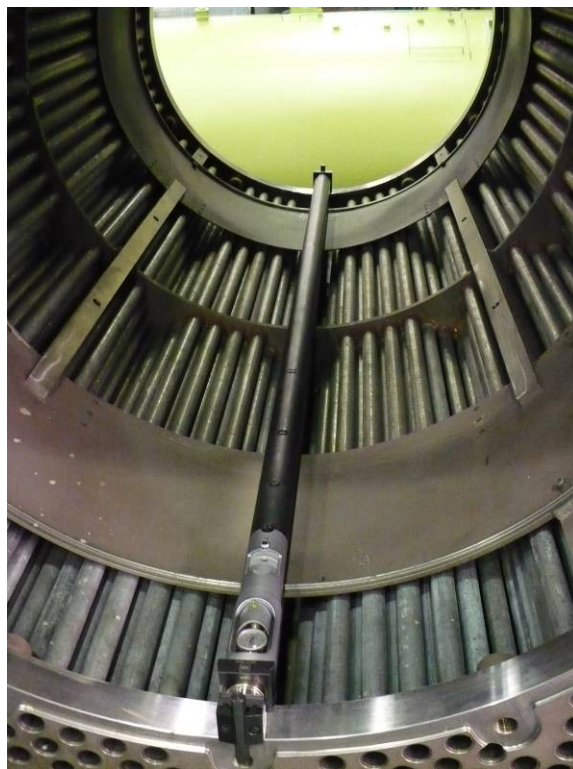
### 6.6.2 Měření délky 1 564 mm

Měření délky probíhalo tak, že student stál u měřicího dílu s číselníkovým úchylkoměrem. Student dbal na to, aby se dotyková hlavice s posuvným dorazem nedotýkala žádné plochy. Pomocí měřicího doteku hledal ideální polohu pro měřenou délku (Obr. 61). První pracovník firmy stál na opačné straně měřené součásti, kde nastavoval měřicí dotek tak, aby se dotyková hlavice s pevným dorazem nedotýkala některé z ploch (Obr. 62). Po zjištění měřené hodnoty na číselníkovém úchylkoměru a měřicí stupnici student nahlásil druhému pracovníkovi hodnotu, kterou zapsal do tabulky (Obr. 63). Tento postup se provedl 10x, ale pokaždé na jiném místě měřené plochy.

Po naměření 10 hodnot délky jsme si vyměnili pozice a opakovali jsme měření. Takto každý pracovník naměřil 10 hodnot. Tento postup jsme stanovili z důvodu přesnějšího výsledku měření. Výsledky byly vyhodnoceny v tabulce měření.



Obr. 61 Vnější měřicí dotek ve styku s měřenou plochou



Obr. 62 Vnější měření délky s přístrojem Unimaster



Obr. 63 Vyhodnocování měřené hodnoty pomocí úchylkoměru a měřicí stupnice.



## 7. Vyhodnocení měření

### 7.1 Vyhodnocení výsledku měření na přístroji LEICA

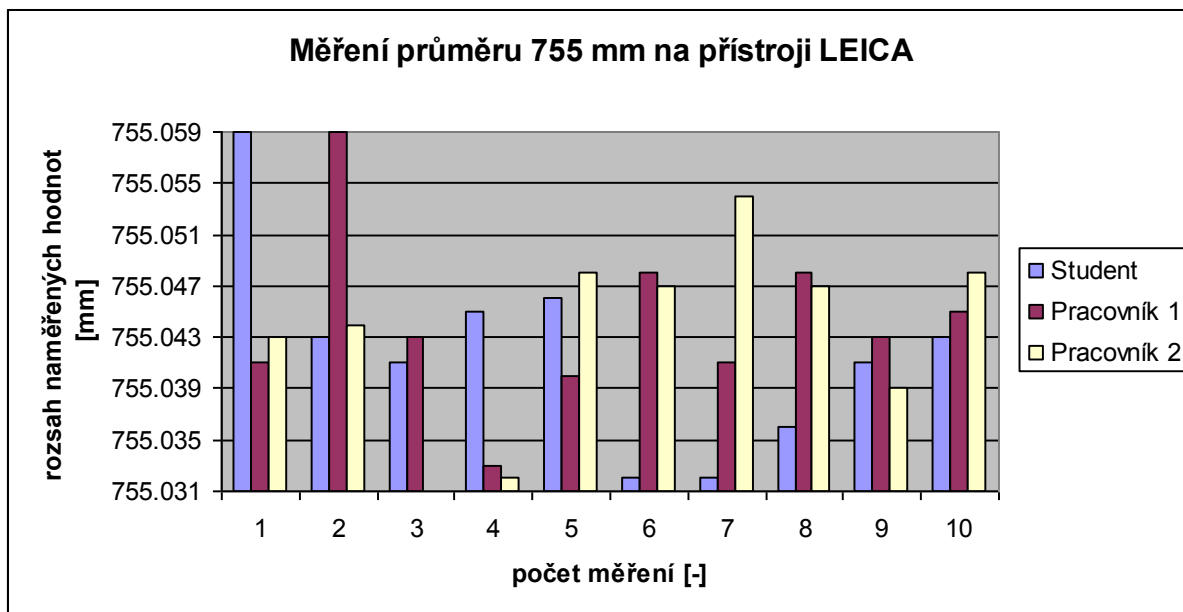
Tab. 2 Naměřené hodnoty průměru a délky na Leica:

Student		
Počet měření	Ø [mm]	L [mm]
1	755.059	1563.893
2	755.043	1563.891
3	755.041	1563.911
4	755.045	1563.86
5	755.046	1563.882
6	755.032	1563.869
7	755.032	1563.867
8	755.036	1563.869
9	755.041	1563.891
10	755.043	1563.874
<b>Průměrná hodnota [mm]</b>	<b>755.0418</b>	<b>1563.8807</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>0.00422</b>	<b>0.005267</b>

Pracovník firmy 1		
Počet měření	Ø [mm]	L [mm]
1	755.041	1563.901
2	755.059	1563.921
3	755.043	1563.893
4	755.033	1563.891
5	755.04	1563.883
6	755.048	1563.895
7	755.041	1563.903
8	755.048	1563.912
9	755.043	1563.887
10	755.045	1563.911
<b>Průměrná hodnota [mm]</b>	<b>755.0441</b>	<b>1563.8997</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>0.00215</b>	<b>0.003841</b>

Pracovník firmy 2		
Počet měření	Ø [mm]	L [mm]
1	755.043	1563.897
2	755.044	1563.899
3	755.031	1563.902
4	755.032	1563.879
5	755.048	1563.91
6	755.047	1563.907
7	755.054	1563.887
8	755.047	1563.899
9	755.039	1563.909
10	755.048	1563.911
<b>Průměrná hodnota [mm]</b>	<b>755.0433</b>	<b>1563.9</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>0.00232</b>	<b>0.003286</b>

Na grafu (obr. 64) jsou zaznamenány hodnoty měřeného průměru všech tří pracovníků na přístroji Leica Laser Tracker.



Obr. 64 Naměřené hodnoty průměru na přístroji LEICA

**Příklad výpočtu:**

Aritmetický průměr všech naměřených hodnot průměru Studenta:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{10} \cdot 7550.441 = 755.044 \text{ mm} \quad (7)$$

Průměr průměrů všech naměřených hodnot:

$$\bar{X} = \frac{755.042 + 755.043 + 755.044}{3} = 755.043 \text{ mm} \quad (8)$$

Směrodatná odchylka a nejistota typu A:

$$s_{\Phi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{X})^2}{n-1}} = s_A \quad (9)$$

Výpočet směrodatné odchylky průměru Studenta:

$$s_{\Phi} = \sqrt{\frac{0.00160512}{10-1}} = 0.00422 \mu\text{m} = s_A \quad (10)$$

Průměr průměrů směrodatných odchylek:

$$s_{\Phi} = s_A = \frac{0.00422 + 0.00215 + 0.00232}{3} = 0.00289 \mu\text{m} \quad (11)$$

**Výsledek měření Studenta:**

$$\Phi = 755.0418 \text{ mm} \pm 0.00422 \text{ mm} \quad (12)$$

**Výsledek měření pracovníka 1:**

$$\Phi = 155,0441\text{mm} \pm 0,00215\text{mm} \quad (13)$$

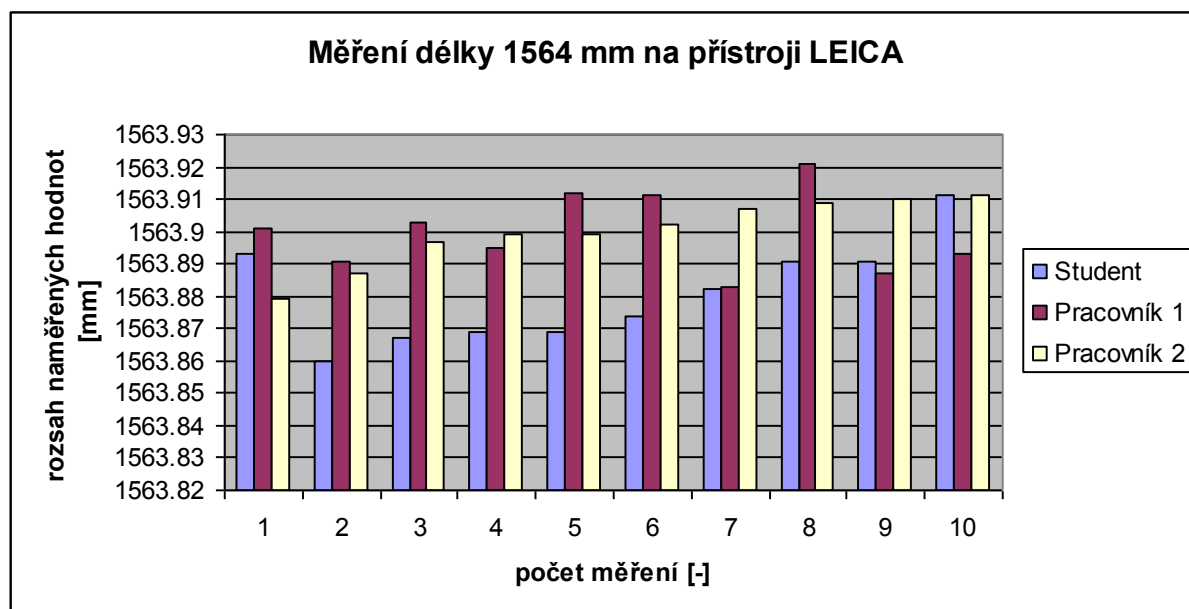
**Výsledek měření pracovníka 2:**

$$\Phi = 155,0433\text{mm} \pm 0,00232\text{mm} \quad (14)$$

**Celkový výsledek měření pro průměr:**

$$\Phi = 155,0431\text{mm} \pm 0,00289\text{mm} \quad (15)$$

Na grafu (obr. 65) jsou zaznamenány hodnoty měřené délky všech tří pracovníků na přístroji Leica Laser Tracker.



Obr. 65 Naměřené hodnoty délky na přístroji LEICA

Aritmetický průměr všech naměřených hodnot délky Studenta:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{10} \cdot 15638.807 = 1563.8807\text{mm} \quad (16)$$

Průměr průměrů všech naměřených hodnot:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1563.8807 + 1563.8997 + 1563.9000}{3} = 1563.8935\text{mm} \quad (17)$$

Výpočet směrodatné odchylky délky Studenta:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{0.0024967}{10 \cdot (10 - 1)}} = 0.0053\text{mm} = 5.3\text{ }\mu\text{m} \quad (18)$$

Průměr délek směrodatných odchylek:

$$S_{L_{\text{pr}}} = t_A = \frac{0.0053 + 0.0038 + 0.0033}{3} = 0.0041 \mu\text{m} \quad (19)$$

**Výsledek měření Studenta:**

$$L = 563,8807\text{mm} \pm 0,005267\text{mm} \quad (20)$$

**Výsledek měření pracovníka 1:**

$$L = 563,8997\text{mm} \pm 0,003841\text{mm} \quad (21)$$

**Výsledek měření pracovníka 2:**

$$L = 563,9000\text{mm} \pm 0,003286\text{mm} \quad (22)$$

**Celkový výsledek měření pro délku:**

$$L = 563.8935\text{mm} \pm 0,0041\text{mm} \quad (23)$$

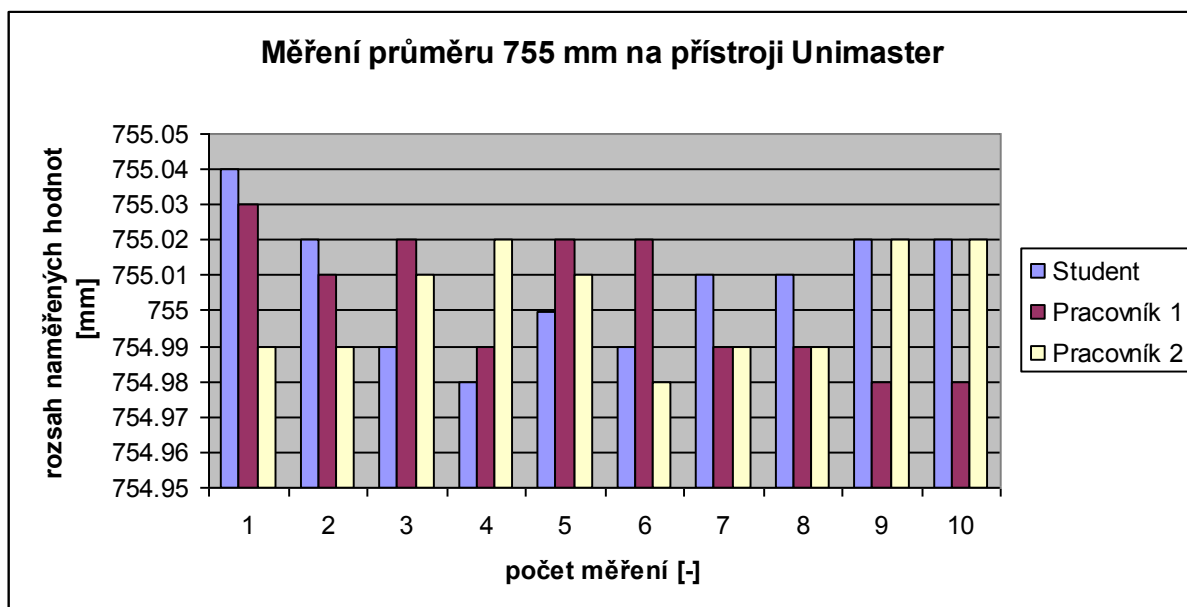
## 7.2 Vyhodnocení výsledku měření na přístroji Unimaster

Tab. 3 Naměřené hodnoty průměru a délky na Unimaster:

Student		
Počet měření	Ø [mm]	L [mm]
1	755.04	1563.75
2	755.02	1563.7
3	754.99	1563.72
4	754.98	1563.74
5	755	1563.74
6	754.99	1563.77
7	755.01	1563.73
8	755.01	1563.78
9	755.02	1563.79
10	755.02	1563.74
<b>Průměrná hodnota [mm]</b>	<b>755.008</b>	<b>1563.746</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>0.00573</b>	<b>0.00913</b>

Pracovník firmy 1			Pracovník firmy 2		
Počet měření	Ø [mm]	L [mm]	Počet měření	Ø [mm]	L [mm]
1	754.98	1563.79	1	755.02	1563.74
2	754.99	1563.71	2	754.99	1563.69
3	755.01	1563.74	3	754.99	1563.67
4	755.03	1563.77	4	754.99	1563.74
5	754.99	1563.77	5	755.02	1563.77
6	755.02	1563.73	6	755.01	1563.79
7	755.02	1563.71	7	755.01	1563.74
8	755.02	1563.74	8	754.98	1563.73
9	754.99	1563.75	9	754.99	1563.71
10	754.98	1563.75	10	755.02	1563.69
Průměrná hodnota [mm]	755.003	1563.745	Průměrná hodnota [mm]	755.002	1563.727
Směrodatná odchylka [μm]	0.00597	0.00819	Směrodatná odchylka [μm]	0.00489	0.01183

Na grafu (obr. 66) jsou zaznamenány hodnoty měřeného průměru všech tří pracovníků na přístroji Unimaster.



Obr. 66 Naměřené hodnoty průměru na přístroji Unimaster

Aritmetický průměr všech naměřených hodnot průměru Studenta:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{10} \cdot 7550.08 = 755.008 \text{ mm} \quad (24)$$

Průměr průměrů všech naměřených hodnot:

$$\bar{X} = \frac{755.008 + 755.003 + 755.002}{3} = 755.0043 \text{ mm} \quad (25)$$

Směrodatná odchylka a nejistota typu A:

$$S_{\Phi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{X})^2}{n-1}} = t_A \quad (26)$$

Výpočet směrodatné odchylky průměru Studenta:

$$S_{\Phi} = \sqrt{\frac{0.00296}{10 \cdot 10 - 1}} = 0.00573 \mu \text{ m} = t_A \quad (27)$$

Průměr průměrů směrodatných odchylek:

$$S_{\Phi} = t_A = \frac{0.00573 + 0.00597 + 0.00489}{3} = 0.0055 \mu \text{ m} \quad (28)$$

**Výsledek měření Studenta:**

$$\Phi : 755,008 \text{ mm} \pm 0,00573 \text{ mm} \quad (29)$$

**Výsledek měření pracovníka 1:**

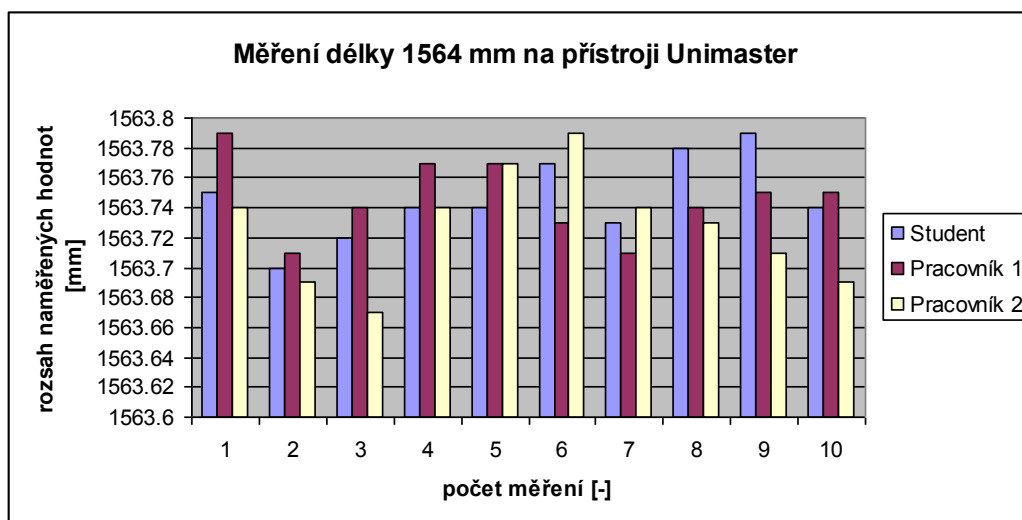
$$\Phi : 755,003 \text{ mm} \pm 0,00597 \text{ mm} \quad (30)$$

**Výsledek měření pracovníka 2:**

$$\Phi : 755,002 \text{ mm} \pm 0,00489 \text{ mm} \quad (31)$$

**Celkový výsledek měření pro průměr:**

$$\Phi : 755,0043 \text{ mm} \pm 0,0055 \text{ mm} \quad (32)$$



Obr. 67 Naměřené hodnoty délky na přístroji Unimaster

Aritmetický průměr všech naměřených hodnot délky Studenta:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{10} \cdot 5637.46 = 563.746 \text{ mm} \quad (33)$$

Průměr průměrů všech naměřených hodnot:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{563.746 + 563.745 + 563.727}{3} = 563.739 \text{ mm} \quad (34)$$

Výpočet směrodatné odchylky délky Studenta:

$$s_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{0.007496}{10 \cdot (10 - 1)}} = 0.00913 \mu \text{ m} = \epsilon_A \quad (35)$$

Průměr délek směrodatných odchylek:

$$s_{\bar{X}_L} = \epsilon_A = \frac{0.00913 + 0.00819 + 0.01183}{3} = 0.0097 \mu \text{ m} \quad (35)$$

**Výsledek měření Studenta:**

$$L = 563,746 \text{ mm} \pm 0,00913 \text{ mm} \quad (37)$$

**Výsledek měření pracovníka 1:**

$$L = 563,745 \text{ mm} \pm 0,00597 \text{ mm} \quad (38)$$

**Výsledek měření pracovníka 2:**

$$L = 563,727 \text{ mm} \pm 0,01183 \text{ mm} \quad (39)$$

**Celkový výsledek měření pro délku:**

$$L = 563,739 \text{ mm} \pm 0,0097 \text{ mm} \quad (40)$$

## 7.3 Histogramy

### 7.3.1 Postup sestavení histogramu pro měřicí přístroj LEICA:

#### 7.3.1.1 Histogram pro průměr:

Výpočet variačního rozpětí  $R$ :

$$R = X_{\max} - X_{\min} = 55,059 - 55,031 = 0,028 \mu \text{ m} \quad (41)$$

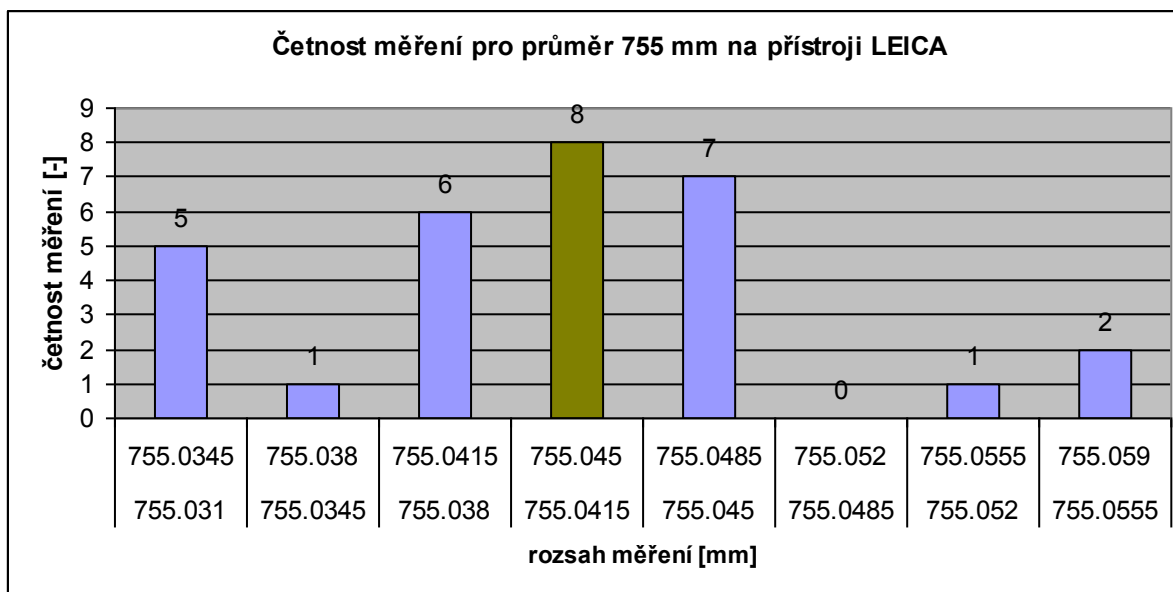
Stanovení počtu třídních intervalů  $k$ :

$$k = i \cdot \log n = i \cdot \log 30 = 7,38 = 8 \quad (42)$$

Stanovíme šířku třídního intervalu  $h$ :

$$h = \frac{R}{k} = \frac{0,028}{8} = 0,0035 \mu \quad (43)$$

$$R = 0.028; k = 8; h = 0.0035$$



Obr. 68 Intervalové rozdělení četností pro průměr

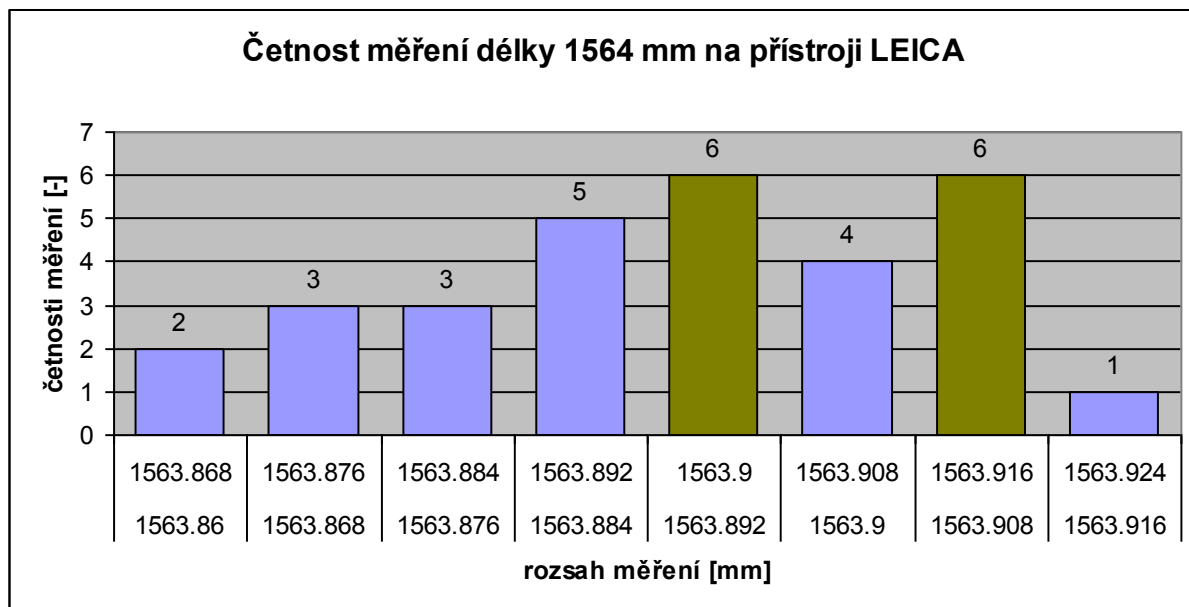
Na grafu (Obr. 68) vidíme graf, který představuje intervalové rozdělení četností. Rozsah měření byl od 755.031 až po 755.059. Vidíme, že v intervalu 755.0415 - 755.045 byli nejčastěji zaznamenány naměřené hodnoty od všech tří lidí. Víme, že zvolené tolerance  $^{+0,04}_0$  nevyhovují toleranci na výkrese. Proto je měření průměru vyhodnoceno jako nevyhovující.

### 7.3.1.2 Histogram pro délku:

Postup pro sestavení histogramu délky je úplně stejný, jako jsme si uvedli u histogramu pro průměr.

$$R = 0.061; k = 8; h = 0.008$$





Obr. 69 Intervalové rozdělení četností pro délku

Na (Obr. 69) vidíme intervalové rozdělení četností pro délku, která má interval od 1563.86 mm až po 1563.924 mm. Nejvyšší četnosti jsou v grafu znázorněny zelenou barvou. Výsledek se proto nejčastěji pohybuje od 1563.892 až po 1563.916 mm. Tolerance, které byli na výkrese  $\pm 0,2$ , se nám shodují s námi naměřenými hodnotami. Proto je výsledek měření délky vyhovující.

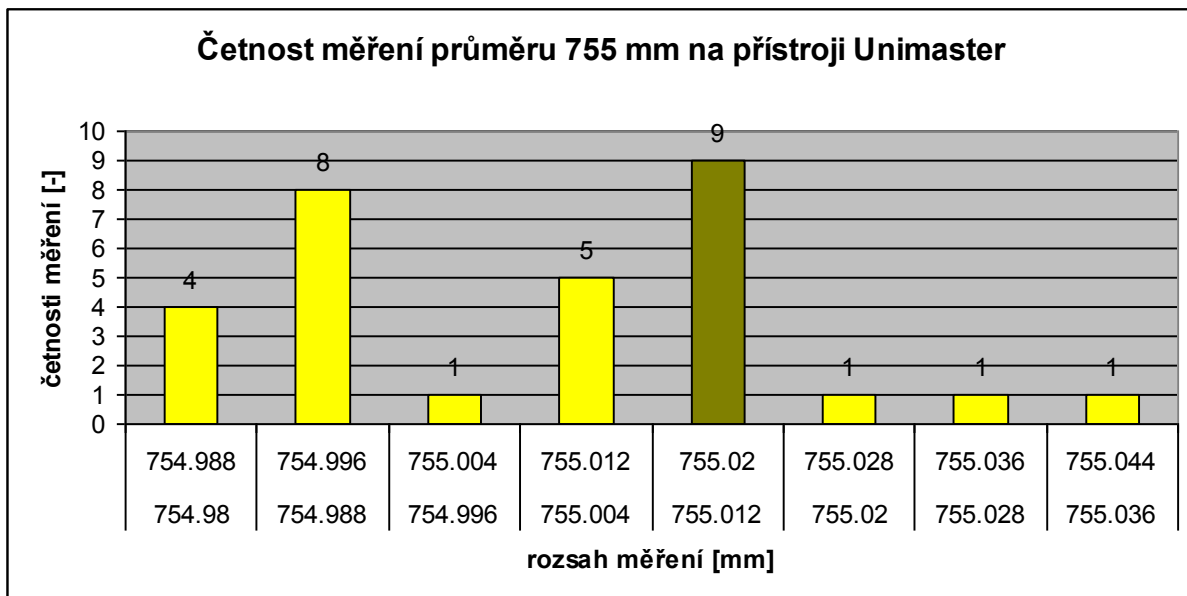
### 7.3.2 Postup sestavení histogramu pro měřicí přístroj UNIMASTER:

Postup pro sestavení histogramu průměru a délky pro přístroj Unimaster je úplně stejný, jako jsme si uvedli u histogramů pro měření na měřicím přístroji Leica Laser Tracker.

#### 7.3.2.1 Histogram pro průměr:

Na grafu (Obr. 70) vidíme intervalové rozdělení četností pro průměr, který má interval od 754.98 mm až po 755.044 mm. Nejčastější četnosti jsou znázorněny zelenou barvou. Tyto četnosti se pohybují v intervalu od 755.012 až po interval 755.02. Podle tolerance, která je  $^{+0,04}_0$  mm nám tyto četnosti vyhovují. Tudíž je tento průměr pomocí četností vyhodnocen jako vyhovující.

$$R = 0.06; k = 8; h = 0.008$$

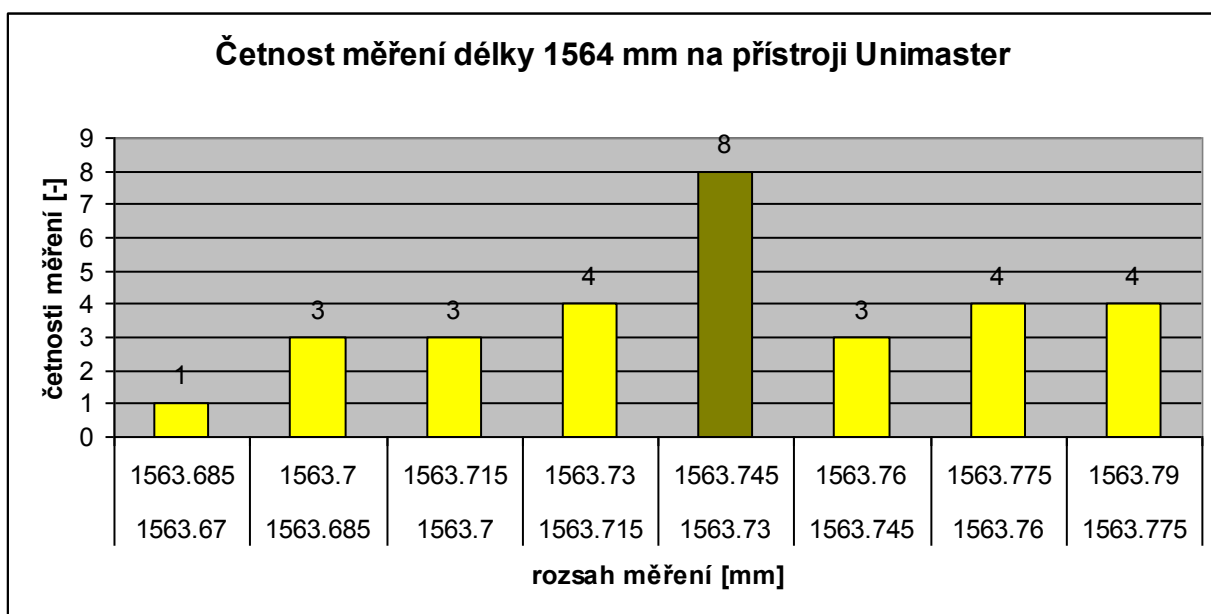


Obr. 70 Intervalové rozdělení četností pro průměr

### 7.3.2.2 Histogram pro délku:

Na grafu (obr. 71) vidíme intervalové rozdělení četností pro délku, které má interval od 1563.67 mm až po 1563.79 mm. Nejčastější četnost je znázorněna zelenou barvou. Tato četnost se pohybuje v intervalu od 1563.73 až po 1563.79. Podle tolerance, která je  $\pm 0.2$  mm nám tato četnost nevyhovuje. Tudíž je tato délka pomocí četnosti vyhodnocena jako nevyhovující.

$$R = 0.12; k = 8; h = 0.015$$



Obr. 71 Intervalové rozdělení četností pro délku

## Závěr

V praktické části diplomové práce bylo provedeno srovnávání výsledků měření pomocí přístrojů Leica Absolute Tracker a Unimaster. Jedná se o dva rozdílné principy měření (mechanické a 3D laserové). V práci byl zpracován podrobný postup měření pro obě měřicí zařízení, který může být použit k zaškolení dalších pracovníků (operátorů).

Na vytipovaném výrobku bylo provedeno měření průměru  $755^{+0,04}_0$  mm. Pomocí přístroje Leica bylo naměřeno  $755,043 \text{ mm} \pm 0,00289 \text{ mm}$ . Tento výsledek byl vyhodnocen jako vyhovující, protože nejistota měření je  $\pm 0,003 \text{ mm}$  a je třeba také zohlednit přesnost měřícího zařízení. Na přístroji Unimaster bylo naměřeno  $755,0043 \text{ mm} \pm 0,0055 \text{ mm}$  a tato hodnota také vyhovuje toleranci na výkrese.

V další části práce bylo provedeno měření celkové délky kostry, jejíž výkresová hodnota je  $1564 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ . Naměřená hodnota byla vyhodnocena  $1563,8935 \text{ mm} \pm 0,0041 \text{ mm}$ , která vyhovuje toleranci na výkrese. Následně byla tato hodnota měřena pomocí měřidla Unimaster, kde byl vyhodnocen měřený rozměr  $1563,739 \text{ mm} \pm 0,0097 \text{ mm}$ . Tato naměřená hodnota je mimo výrobní toleranci. Vzhledem k tomu, že při měření pomocí měřidla Unimaster je velká pravděpodobnost chyby měření vlivem průhybu měřidla (velká hodnota měřené délky), bylo rozhodnuto o správnosti měření pomocí Leica, u kterého k těmto nežádoucím vlivům nedochází. Celková délka kostry tedy taktéž vyhovuje předepsanému rozměru dle výkresové dokumentace.

Závěrečné shrnutí je tedy následující. Oba měřené rozměry byly vyhodnoceny jako vyhovující. Naměřené hodnoty byly analyzovány pomocí histogramů, kdy byla pomocí těchto grafů zjištěna nejčastěji naměřená hodnota na vytipovaném výrobku. K rozdílu výsledků naměřených pomocí Leica a pomocí Unimasteru dochází vlivem rozdílného principu měření. Bylo potvrzeno, že Unimaster je vhodné používat do velikosti měřeného rozměru 1000 mm, poté již může docházet k nežádoucímu průhybu měřidla a nepřesnosti měření. K měření průměru 755 mm je proto dostačující. U měření celkové délky bylo doporučeno měření na Leica Absolute Tracker. Vzhledem k časové náročnosti měření na Leica (přesun, temperance,...), je vhodné toto zařízení používat ke konečné výstupní kontrole výrobků. Unimaster byl doporučen k tzv. mezioperační kontrole, kdy si pracovník může přeměřit rozměr v průběhu jeho výroby. Po následném, konečném přeměření u finálního výrobku na Leica, mohou být naměřené hodnoty použity k rozměrovým korekcím výrobního stroje pro výrobu následujících kusů z výrobní série a předcházet tak případným dalším rozměrovým neshodám.

## 8. Literatura

- [1] LEICA GEOSYSTEMS. *Leica Absolute Tracker: T-Produkty+emScon*. Bratislava, 2011.
- [2] INDIAMARD: Leica Tracker Systems. Indiamard [online]. 2011 [cit. 2012-03-22].  
Dostupné z: <http://www.indiamart.com/elcome-technologies/laser-tracker-systems.html>
- [3] Leica Geosystems. *AT MeteoStation* [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z:  
[http://metrology.leica-geosystems.com/en/AT-MeteoStation\\_19053.htm](http://metrology.leica-geosystems.com/en/AT-MeteoStation_19053.htm)
- [4] Leica Geosystems. Nivel230 [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z:  
[http://www.leica-geosystems.com/en/Acc-Laser-Tracker-Systems-NIVEL230\\_1680.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Acc-Laser-Tracker-Systems-NIVEL230_1680.htm)
- [5] Leica Geosystems. Overview Camera [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z:  
[http://www.leica-geosystems.com/en/Overview-Camera\\_1678.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Overview-Camera_1678.htm)
- [6] Leica Geosystems. Red-Ring Reflectors [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z:  
[http://www.leica-geosystems.com/en/Red-Ring-Reflectors-RRR\\_1577.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Red-Ring-Reflectors-RRR_1577.htm)
- [7] Leica Geosystems. Leica T-Cam [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z:  
[http://metrology.leica-geosystems.com/en/Press-Pictures\\_1778.htm?folder=2008/](http://metrology.leica-geosystems.com/en/Press-Pictures_1778.htm?folder=2008/)
- [8] Asphar Survey Group. 3D Metrology Leica Absolute Tracker . 2010 Dostupné z:  
<http://www.aspharsurvey.com.au/asphar-survey-now-measures-to-a-micron-865>
- [9] Noncontact measuring systems. Produkty - Leica T-Probe . 2011 [cit. 2012-03-22].  
Dostupné z [http://www.nms.sk/?lang=sk&sess\\_key=k2fqv4Obp58wZkOW&query=leica\\_t-probe-II](http://www.nms.sk/?lang=sk&sess_key=k2fqv4Obp58wZkOW&query=leica_t-probe-II)
- [10] Noncontact measuring systems. Produkty - Leica T-Scan. 2011 [cit. 2012-03-22].  
Dostupné z: [http://www.nms.sk/?lang=sk&sess\\_key=qQzs474v55A5x11b&query=leica\\_t-scan](http://www.nms.sk/?lang=sk&sess_key=qQzs474v55A5x11b&query=leica_t-scan)
- [11] Leica Geosystems: Metrology products. Catalog Version 1.1. Německo, 2011.  
Dostupné z :[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/m1/metrology/general/brochures/Leica%20Geosystems%20Metrology%20Products\\_catalog\\_2011\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/m1/metrology/general/brochures/Leica%20Geosystems%20Metrology%20Products_catalog_2011_en.pdf)
- [12] PolyWorks: Uživatelská příručka. V 11. Bratislava, 2011.
- [13] ROJÁK, J. *Návod na použití UNIMASTRU*. TES Vsetín, 2009.
- [14] HHW: Katalog 2008. *Měřicí a ořísovací nástroje, zkoušečky* [online]. 2008. Dostupné z:  
[http://katalog.hhw.de/CZ/31\\_HHW\\_Katalog\\_2008\\_XT\\_CZ.pdf](http://katalog.hhw.de/CZ/31_HHW_Katalog_2008_XT_CZ.pdf)
- [15] TESA UNIMASTER Universal Measuring Instrument. In: *Measuring instruments for large dimensions* [online]. 2010 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z:  
[http://www.microntesa.co.za/pdf\\_brouchers/E\\_2010\\_EN\\_UNIMASTER.pdf](http://www.microntesa.co.za/pdf_brouchers/E_2010_EN_UNIMASTER.pdf)
- [16] TES Vsetín s.r.o. [online]. 2011 [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: <http://www.tes.cz/>

- [17] ING. TICHÁ, Šárka, Ph.D. STROJÍRENSKÁ METROLOGIE část 1. Ostrava: Ostrava, 2004.
- [18] ING. ČEPOVÁ, Lenka Ph.D. a Lenka Ph.D. ING. PETŘKOVSKÁ. Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2011.
- [19] ING. SIGMUND, Marek. STRATEGIE HODNOCENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI NA TŘÍSOUŘADNICOVÉM MĚŘICÍM STROJI. Ostrava, 2010. Disertační práce. VŠB-TU Ostrava.
- [20] OSANNA, P., DURAKBASA H.: Comprehensive Analysis of Workpiece Geometry by Means of the Co-ordinate Measurement Technique, Surface Topography 1,1988, s.135-141
- [21] DOC. ING. PERNIKÁŘ Jiří, CSc., Doc. Ing. TYKAL Miroslav, CSc.  
a Prof. Ing. VAČKÁŘ Josef, CSc., JAKOST A METROLOGIE. Brno: Akademické nakladatelství Cerm s.r.o., 2001. ISBN 80-214-1997-0.
- [22] Geomatika: Měření délek [online]. Plzeň: Fakulta aplikovaných věd, 2010  
[cit. 2012-04-10]. Dostupné z : <http://www.gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch06.html>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výrobky firmy TES Vsetín s.r.o.....	9
Obr. 2 Přehled délkových měřících systémů .....	13
Obr. 3 Faktory ovlivňující výsledek měření .....	17
Obr. 4 Leica Absolute Tracker .....	19
Obr. 5 Čelní pohled hardwaru.....	21
Obr. 6 Zadní pohled hardwaru .....	22
Obr. 7 Místa výměny prachových filtrů.....	23
Obr. 8 Meteostanice .....	23
Obr. 9 Nivel 230 .....	24
Obr. 10 Pohledová kamera.....	24
Obr. 11.1 Reflektorová kulička .....	27
Obr. 11.2 Adaptér .....	25
Obr. 12 Dotykový adaptér .....	25
Obr. 13 Dotykové hroty + prodloužené doteky .....	25
Obr. 14 T-Cam .....	26
Obr. 15.1 T-Probe.....	29
Obr. 15.2 Kalibrovací hnízdo pro T-Probe .....	27
Obr. 16 T-Scan.....	27
Obr. 17 Okno správce pracovních relací .....	28
Obr. 18 Okno Inspektor Probing.....	29
Obr. 19 Panel nástrojů Snímací zařízení.....	30
Obr. 20 Nastavení snímání.....	30
Obr. 21 Komunikace s ATControllerem.....	34
Obr. 22 Nastavení snímacího zařízení T-Probe .....	32
Obr. 23 Panel nástrojů vytvoření prvku.....	33
Obr. 24 Vytvoření prvku kružnice pomocí snímání .....	34
Obr. 25 Měřicí přístroj Unimaster .....	35
Obr. 26 Popis měřicího dílu.....	35
Obr. 27 Měřicí doteky:.....	36
Obr. 28 Celá sada přístroje Unimaster.....	37
Obr. 29 Připojené měřidlo Leica AT 901-MR.....	39
Obr. 30 Pracovní plocha .....	39

---

Obr. 31 Výrobek .....	40
Obr. 32 Uchycení pomocí řetězů .....	42
Obr. 33 Přenesení výrobku .....	41
Obr. 34 Ustavení výrobku na pracovním stole .....	41
Obr. 36 Nastavení snímání .....	43
Obr. 37 Vlastnosti zařízení .....	44
Obr. 38 Připojení Leica Laser Tracker .....	44
Obr. 39 Výchozí pozice Reflektorové kuličky .....	45
Obr. 40 Vytvoření prvku - roviny 1 .....	46
Obr. 41 Snímání roviny pomocí reflektorové kuličky .....	46
Obr. 42 Nasnímané roviny 1 a 2 ve 3 D scéně .....	47
Obr. 43 Snímání s T-Probe .....	49
Obr. 44 Snímání roviny 2 s T-Probe .....	47
Obr. 46 Snímání kružnice s reflektorovou kuličkou .....	48
Obr. 45 Vytvoření kružnice .....	48
Obr. 48 Určení vzdálenosti mezi rovinami 1 a 2 .....	49
Obr. 50 Nastavná měrka .....	54
Obr. 51 Uchycení měřicích dotyků .....	54
Obr. 52 Nastavení nuly pro vnitřní měření .....	52
Obr. 53 Složení a rozložení prodlužovacích dílů pomocí nastavovací měrky .....	52
Obr. 54 Přístroj položený na rovné ploše .....	52
Obr. 55 Sestavené měřidlo pro vnitřní měření .....	52
Obr. 56 Nastavovací měrka pro vnější měření .....	53
Obr. 57 Vnější dotyk .....	56
Obr. 58 Utáhnutí a odtáhnutí prodlužovacích dílů pomocí speciálního klíče .....	54
Obr. 59 Sestrojená délka 1564 mm .....	54
Obr. 60 Vnitřní měření průměru s přístrojem Unimaster .....	55
Obr. 61 Vnější měřicí dotek ve styku s měřenou plochou .....	58
Obr. 62 Vnější měření délky s přístrojem Unimaster .....	56
Obr. 63 Vyhodnocování měřené hodnoty pomocí úchylkoměru a měřicí stupnice .....	56
Obr. 64 Naměřené hodnoty průměru na přístroji LEICA .....	58
Obr. 65 Naměřené hodnoty délky na přístroji LEICA .....	59
Obr. 66 Naměřené hodnoty průměru na přístroji Unimaster .....	61
Obr. 67 Naměřené hodnoty délky na přístroji Unimaster .....	62
Obr. 68 Intervalové rozdělení četností pro průměr .....	64

---

Obr. 69 Intervalové rozdělení četností pro délku .....	65
Obr. 70 Intervalové rozdělení četností pro průměr .....	66
Obr. 71 Intervalové rozdělení četností pro délku .....	66



**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Výrobní tolerance prodlužovacích dílů: .....	37
Tab. 2 Naměřené hodnoty průměru a délky na Leica: .....	57
Tab. 3 Naměřené hodnoty průměru a délky na Unimaster: .....	60

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D., za poskytnutí cenných informací, také své konzultantce Ing. Lence Čepové, Ph.D. za poskytnutý čas při konzultacích a cenných informací. Dále zaměstnanci firmy TES Vsetín s.r.o. Petru Sedlákovu za poskytnutý čas a cenné informace při měření experimentu. A také zaměstnanci firmy TES Vsetín s.r.o. Ing. Lukáši Labajovi za poskytnutý čas při konzultacích na své práci.

Chtěl bych poděkovat hlavně svým rodičům za to, že mně umožnili vystudovat Vysokou školu a hlavně také za to, že mně po celou dobu studia finančně i psychicky podporovali.